مقدمه ای بر رسم نمودار و عوامل خطا

خطاهای اندازه گیری

در اندازه گیری کمیت های فیزیکی خطا اجتناب ناپذیر است و یا بهتر است گفته شود خطا جزء جدا نشدنی اندازه گیری به شمار می‌آید. از این رو در اندازه گیری کمیتها به اندازه و نیز منابع خطا باید همواره توجه شود. به عبارت دیگر مطالعه و شناخت خطا ما را در یافتن روش های کاهش آن برای دستیابی به نتایج بهینه یاری می دهد. به این ترتیب از میزان خطا تا به اندازه ای می توان کاست که از اثر آن بر نتایج به دست آمده از اندازه گیری، بتوان چشم پوشی کرد.
خطاهای وارد شده در اندازه گیری کمیت ها از منابع بسیاری ناشی می شود. در یک دسته بندی می توان سه عامل عمده خطا را معرفی کرد:

الف)خطای شخص

خطای شخص از عدم دقت شخص، و عدم مهارت شخص با وسیله مورد آزمایش، نداشتن عکس العمل سریع هنگام اندازه گیری و نیز نداشتن آگاهی کافی از روش درست محاسبات ناشی می شود. برخی از این خطاها قابل کنترل، و برخی غیرقابل کنترل هستند.

ب)خطای وسیله

خطای وسیله ناشی از فرسودگی وسیله یا عدم انتخاب مناسب وسیله است. این خطا همچنین به میزان حساسیت وسیله هم بستگی دارد. هرقدر حساسیت دستگاه بیشتر باشد خطای وسیله کمتر است.

ج) خطای تصادفی

گاهی اوقات وسیله‌ی اندازه‌گیری دقت بالایی دارد، ولی تکرار اندازه‌گیری نتایج متفاوتی را نشان می‌دهد. در این موارد بحث خطای تصادفی اهمیت می‌یابد و باید تحلیل آماری روی اندازه‌گیری‌ها انجام داد.

مثلاً فرض کنید با یک زمان‌سنج (با دقت ۰/۰۱ ثانیه) می‌خواهیم زمان ۲۰ نوسان یک آونگ را اندازه بگیریم و داده‌های زیر به دست آمده‌اند:

۱۸/ ۷۱s, ۱۸/ ۵۴ s, ۱۸/ ۵۶ s, ۱۸/ ۷۹ s

در این صورت زمان ۲۰ نوسان را میانگینِ اعدادِ بالا در نظر می‌گیریم.
برای تخمین خطای این اندازه‌گیری، روش‌های ریاضیِ خاصی وجود دارد، ولی یک روش ساده برای تخمین خطا استفاده از رابطه زیر است:

$$\text{خطای تصادفی} = \frac{\text{اختلاف بین کوچک‌ترین و بزرگ‌ترین مقدار}}{\text{تعداد اندازه‌گیری‌ها}} = \frac{۱۸/۷۹-۱۸/۵۴}{۴} = ۰/۰۶\,s$$

پس به طور خلاصه عدد نهایی را به صورت (خطا ± میانگین = x) گزارش می‌کنیم.
نکته مهم: اگر خطای تصادفی از خطای وسیله‌ی اندازه‌گیری بیشتر شد، نمایش به شکل بالا درست است، وگرنه باید همان خطای وسیله را کنار میانگین قرار داد.
قرارداد: برای آن که وضعیت یکسانی در نمایش خطا و مقدار اندازه‌گیری ایجاد شود، لازم است خطا با یک یا دو رقم معنی‌دار نوشته شود. در ضمن، نتیجه‌ی اندازه‌گیری نیز باید تا همان ارقام اعشاری که خطا نوشته شده، بیان گردد. مثلاً $t = (۳ / ۷۸۶ \pm ۰ / ۱)\,s$ قابل قبول نیست، زیرا وقتی خطا ۰/۱ باشد، عدد اصلی را نیز باید تا یک رقم اعشار گرد کرد: $t = (۳ / ۸ \pm ۰ / ۱)\,s$.

د) خطای محیط

خطاهای ناشی از عوامل محیطی مانند تغییرات فشار و دما، جریان هوا، تغییر نور محیط، یا حتی وجود گرد و غبار نیز از عوامل مؤثر در انحراف اندازه کمیت از مقدار واقعی آن است. خطاهای غیرقابل پیش بینی محیط معمولاً غیرقابل کنترل هستند.
تذکر: در محاسبه عددی خطاها Δx باید موارد زیر را وارد کرد:
خطای محیط + خطای تصادفی + خطای دستگاه اندازه گیری + خطای شخص $= \Delta x$
در اینجا به معرفی اجمالی روش هایی ساده برای محاسبه اندازه کمیت به همراه خطای آن می پردازیم.

الف) اندازه گیری مستقیم؛ میانگین و خطای آن

خطایی که در اثر مقایسه دو کمیت هم جنس اتفاق می افتد، مثلا وقتی که بخواهیم طول جسمی را اندازه بگیریم.

اگر کمیت x را در شرایط کاملاً یکسان n بار اندازه گیری کنیم، **میانگین** داده ها (به عنوان اندازه کمیت) از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=0}^{n} x_i$$

که در آن x_i معرف اندازه کمیت در اندازه گیری iام است.

خطای میانگین

خطای میانگین را برابر بیشینه انحراف از میانگین در نظر می گیریم؛ یعنی

$$\Delta\bar{x} = |x_i - \bar{x}|_{max}$$

میزان انحراف اندازه کمیت از مقدار واقعی آن را خطای اندازه گیری می نامیم.

اگر اندازه کمیت را با x و خطای آن را با Δx نشان دهیم، مقدار واقعی کمیت عددی است بین $x - \Delta x$ و $x + \Delta x$. بدین ترتیب نتیجه اندازه گیری به صورت $x \pm \Delta x$ نشان داده می شود که نشان دهنده اندازه کمیت و خطای موجود در اندازه گیری آن می باشد.

Δx که معرف حداکثر اختلاف کمیت با مقدار واقعی آن است را **خطای مطلق**[1] می نامند. دقت عددی خطای مطلق با دقت عددی اندازه کمیت با هم برابر است. این خطا نمی تواند برابر صفر باشد، چرا که خطای مطلق صفر معرف دقت بی نهایت در انجام آزمایش است. ***خطای مطلق حداقل برابر دقت وسیله اندازه گیری است.***

نسبت خطای مطلق به اندازه کمیت را ***خطای نسبی***[2] و درصد آن را ***درصد خطای نسبی*** می نامند. اگر نتایج اندازه گیری یک کمیت را با x_1 و x_2 و ... و x_n نمایش دهیم

مقدار متوسط عددی $x = (x_1 + x_2 + \dots + x_n)/n$ را می‌توان اندازه آن کمیت اختیار کرد و بزرگترین مقادیر $|x_1 - x|, \dots, |x_n - x|$ را **خطای ماکزیمم** گویند.

هنگامی که یک یا چند نتیجه اندازه گیری از مقدار متوسط اختلاف اتفاقی قابل ملاحظه داشته باشد در محاسبات مربوط به خطا ، **خطای متوسط** را در نظر می‌گیرند:

میانگین – عدد اندازه گیری شده = (خطای مطلق) Δx

بزرگترین اختلاف از میانگین = خطای مطلق ماکزیمم

خطای نسبی $= \dfrac{\Delta x}{x}$

درصد خطای نسبی $= \dfrac{\Delta x}{x} \times ۱۰۰$

هرقدر خطای نسبی در اندازه گیری کمیتی کوچک تر باشد، دقت اندازه گیری آن کمیت بیشتر بوده و در این حالت می توان حساسیت[۱] را که عکس خطای نسبی است، تعریف کرد. پس هرقدر حساسیت اندازه گیری بیشتر باشد اندازه گیری دقیق تر است.

ب) اندازه گیری غیر مستقیم: میانگین و خطای آن

اگر بخواهیم با داده های اندازه گیری شده و روابط بین کمیتها به اندازه کمیت دیگری به طور غیرمستقیم دست یابیم، کافی است مقادیر میانگین داده ها در فرمول مورد نظر جاگذاری کنیم تا اندازه کمیت مورد نظر به دست آید.

برای محاسبه خطای چنین کمیت‌هایی باید فرمول خطای محاسبه را به دست آوریم. برای این منظور حالت های زیر را در نظر می‌گیریم.

۱- خطای حاصل جمع و تفریق

در حالت جمع و تفریق دو یا چند کمیت خطای مطلق کل مساوی مجموع خطاهای مطلق آن کمیت هاست

اگر Δa و Δb خطای مطلق کمیت های a و b باشد، Δx خطای مطلق کمیت $x = a + b$ برابر است با $\Delta x = \Delta a + \Delta b$

و اگر $y=a-b$ باشد، برای محاسبه خطای مطلق Δy برابر $\Delta a-\Delta b$ خواهد شد! اما با توجه به اینکه عوامل خطا یکدیگر را حذف نمی کنند(یعنی باعث کم شدن خطای مطلق نمی شوند) برای محاسبه حداکثر خطا بنا به قرارداد ، علامت - به + تبدیل می-شود، بنابراین $\Delta y=\Delta a+\Delta b$ خواهد شد.

بدین ترتیب خطای نسبی حاصل جمع $\frac{\Delta x}{x}=\frac{\Delta a+\Delta b}{a+b}$ کوچک تر از خطای نسبی حاصل تفریق $\frac{\Delta y}{y}=\frac{\Delta a+\Delta b}{a-b}$ است.

۲- خطای حاصل از توابع مختلف

✓ روش ln گیری

با استفاده از خاصیت دیفرانسیلی تابع $\ln(u)$ به راحتی می توان فرمول خطای هر رابطه ای را به دست آورد. با توجه به تعریف، دیفرانسیل تابع $\ln(u)$ برابر است با:

$$y=\ln(u) \qquad \Rightarrow \qquad dy=(\frac{1}{u})du=\frac{du}{u}$$

که با تقریب، می توان دیفرانسیل متغیرها را با تغییرات آن ها جایگزین کرد. بدین ترتیب کافی است از طرفین رابطه مورد نظر ln گیری کرده و به دنبال آن دیفرانسیل گرفته و دیفرانسیل هر متغیر را با تغییرات آن متغیر جایگزین کرد. به عنوان مثال برای محاسبه خطای حاصل ضرب دو کمیت داریم:

$$u=ab \qquad \Rightarrow \qquad \ln u=\ln a+\ln b$$

$$d(\ln u)=d(\ln a)+d(\ln b) \qquad \Rightarrow \qquad \frac{du}{u}=\frac{da}{a}+\frac{db}{b}$$

$$\frac{\Delta u}{u}=\frac{\Delta a}{a}+\frac{\Delta b}{b} \qquad \Rightarrow \qquad \Delta u=u\left(\frac{\Delta a}{a}+\frac{\Delta b}{b}\right)$$

نتیجه بالا را می توان از ضرب مستقیم دو کمیت نیز به دست آورد، به طوری که:

$$\begin{aligned} u\pm\Delta u &= (a\pm\Delta a)(b\pm\Delta b) \\ &= ab\pm(a\Delta b+b\Delta a)+\Delta a\Delta b \end{aligned}$$

با توجه به اینکه Δa و Δb اعداد کوچکی هستند، چنانچه از $\Delta a\Delta b$ چشم پوشی کنیم، داریم:

$$\Delta u = a\Delta b + b\Delta a = ab\left(\frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b}\right)$$

که همان نتیجه قبلی است.

در حالت کلی اگر $u = a \times b \times c \times \dots$ باشد داریم $\frac{\Delta u}{u} = \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b} + \frac{\Delta c}{c} + \dots$

به روش مشابه می توان خطای حاصل تقسیم را (با توجه به این مطلب که خطاها یکدیگر را حذف نمی کنند) به دست آورد.

بنابراین:

در حالت ضرب و تقسیم دو یا چند کمیت خطای نسبی حاصل مساوی مجموع خطاهای نسبی هر یک از آن کمیت هاست.

✓ روش دیفرانسیل گیری

برای تابع $x = f(a,b) = ab$ با دیفرانسیل گیری نسبت به هر کدام از متغیرها داریم:

$$\Delta x = \frac{\partial f}{\partial a}\Delta a + \frac{\partial f}{\partial b}\Delta b = b\Delta a + a\Delta b$$

$$\frac{\Delta x}{x} = \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b} \qquad \Rightarrow \qquad \Delta x = x\left(\frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b}\right)$$

برای تابع $y = f(a,b) = \frac{a}{b}$ داریم:

$$\Delta y = \frac{\partial f}{\partial a}\Delta a + \frac{\partial f}{\partial b}\Delta b = \frac{1}{b}\Delta a + \frac{-a}{b^2\Delta b}$$

$$\frac{\Delta y}{y} = \frac{\Delta a}{a} - \frac{\Delta b}{b} \quad \Rightarrow \quad \frac{\Delta y}{y} = \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b} \quad \Rightarrow \quad \Delta y = y\left(\frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b}\right)$$

رسم نمودار

برای رسم نمودار روی کاغذ میلیمتری باید نکات زیر را مد نظر قرار داد:

۱- *عنوان نمودار*

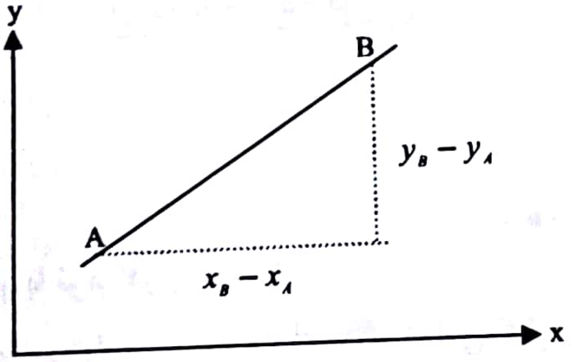
۲- *تعیین محورهای مختصات*

۳- *تعیین مقیاس محورها* $(x_\circ, y_\circ)$: مقیاس باید به گونه ای باشد که نمودار تمام صفحه کاغذ را در برگیرد

۴- *وارد کردن نقاط تجربی*

۵- *رسم بهترین خط*: خط محاسباتی باید طوری رسم شود که تا جای ممکن از بیشترین نقاط تجربی عبور کند یا به آن ها نزدیک باشد همچنین پراکندگی نقاط حول آن یکنواخت باشد. یعنی مجموع فواصل عمودی نقاطی که در یک طرف خط واقع شده اند تا خط، تقریباً برابر مجموع فواصل عمودی نقاطی باشد که در طرف دیگر خط واقع شده اند. در این حالت اگر نقطه یا نقاطی نسبت به بقیه همخوانی نداشته باشند می توان از آنها چشمپوشی کرد. نقطه حذف شده نباید پاک شود.

۶- *محاسبه شیب نمودار و خطای آن*: برای محاسبه شیب کافی است دو نقطه اختیاری (A و B)، تا آنجا که ممکن است دور از یکدیگر، روی خط در نظر می گیریم و از رابطه زیر شیب نمودار را به دست می آوریم:

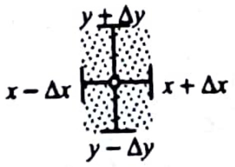


$$a = \frac{(y_B - y_A)/y_0}{(x_B - x_A)/x_0}$$

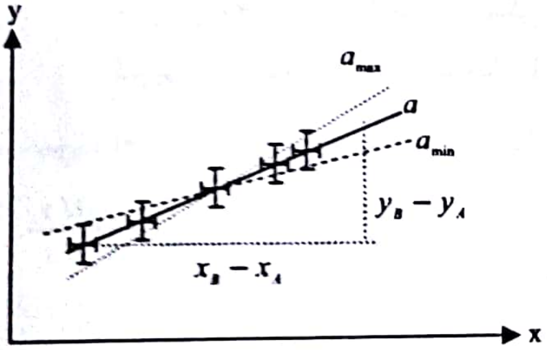
خطای شیب و به دنبال آن خطای کمیت را می توان با استفاده از رسم خطوط خطا به روش زیر به دست آورد:

* رسم خطوط خطا

برای این منظور پس از وارد کردن نقاط تجربی در صفحه نمودار محدوده خطای مطلق آن ها را نیز مشخص می کنیم. بدین ترتیب مطابق شکل به جای یک نقطه در صفحه نمودار یک بازه مستطیل شکل معرف هر زوج داده(x,y) خواهیم داشت.



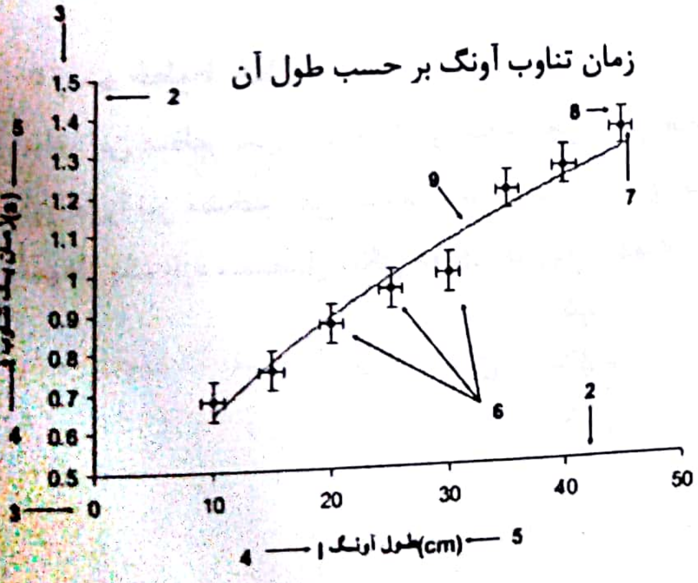
با در نظر گرفتن نواحی خطا برای تمام نقاط تجربی خط با شیب میانگین را رسم می کنیم. خط میانگین خطی است که از تمام نواحی خطا عبور کند و تا آنجا که ممکن است به مرکز داده ها نزدیک باشد. این همان خطی است که قبلاً به رسم آن اشاره شد و شیب آن(a) اندازه کمیت را به دست می دهد. برای محاسبه خطای شیب و به دنبال آن خطای کمیت مورد نظر دو خط با شیب بیشینه (a_{max}) و شیب کمینه (a_{min}) را رسم می کنیم، به طوری که خطوط نیز از تمام نواحی خطا عبور کنند و به ترتیب دارای بیشترین شیب و کمترین شیب ممکن باشند. پس از رسم این سه خط و محاسبه شیب آنها، خطای شیب را می توان به صورت زیر به دست آورد:



$$\Delta a = \frac{|a - a_{max}| + |a - a_{min}|}{۲}$$

کار با نرم افزار *Excel*

شما می‌توانید در محیط *Excel* تمامی گزارش کار خود را بنویسید کافیست مقادیر آزمایش را بنویسید، *Excel* به شما امکاناتی می دهد تا اطلاعات لازم را از آنها بگیرید، محاسبا ت لازم را روی آنها انجام دهید، نمودارهای مربوط به آنان را رسم کنید و.... .



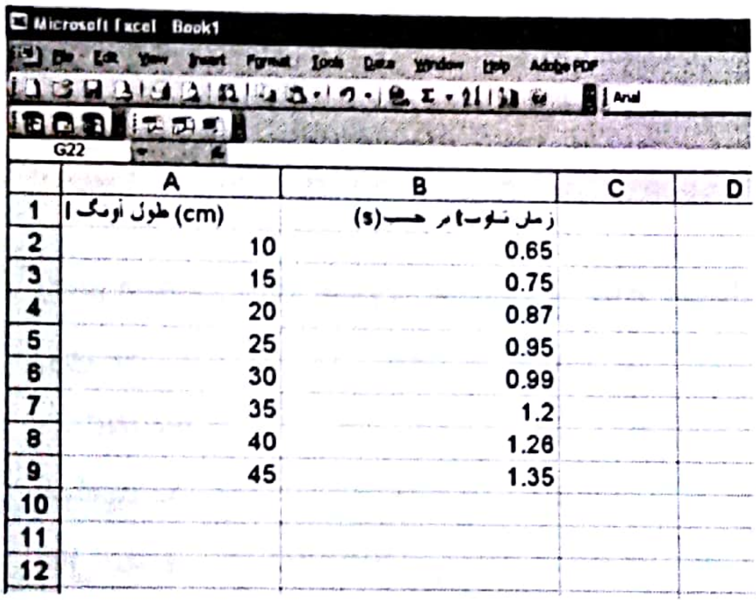
رسم نمودار

می خواهیم نمودار روبرو را رسم کنیم

نرم افزار *Excel* را اجرا کنید با توجه به اعداد جدول زیر

تمام اعداد و اطلاعات ردیف اول را در قسمت $A1$ تا $A9$ وارد می کنیم به همین ترتیب داده های ردیف دوم جدول را در قسمت $B1$ تا $B9$ مطابق شکل وارد می‌کنیم.

زمان تناوب(s) t	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵
طول آونگ l(cm)	۰/۶۸	۰/۷۵	۰/۸۷	۰/۹۵	۰/۹۹	۱/۲۰	۱/۲۶	۱/۳۵



سپس علامت در بالای صفحه یا گزینه *Chart* از منوی *Insert* را انتخاب کنید. در قسمت *Standard types* گزینه *XY(Scatter)* را انتخاب کرده و دکمه *Next>* را بزنید. سپس در قسمت *Data range* آیکون مربوطه را انتخاب کنید. حال موس را روی *A2* آورده و با دکمه چپ موس را پایین نگه داشته و موس را تا *B9* بکشید و دکمه موس را رها کنید با انتخاب آیکون به حالت اول برگشته و دکمه *Next>* را بزنید.

در قسمت *Titles* می‌توانید عنوان نمودار و نوشته های هر محور را مشخص کنید انتخابهای زیر را انجام می‌دهیم:

Chart title : "زمان تناوب آونگ بر حسب طول آن"

Value (X) axis: "طول آونگ l(cm)"

Value(Y) axis: "زمان تناوب t بر حسب(s)"

حال دکمه *Next>* و سپس *Finish* را فشار دهید نمودار کشیده می شود. شما هر تغییری که لازم دیدید می توانید روی نمودار انجام دهید مثلاً هر قسمت را که نخواستید آن را انتخاب کرده و دکمه *Delete* را فشار دهید.

قرار دادن خطوط خطا روی نقاط نمودار

ماوس را روی یکی از نقاط روی نمودار برده و دکمه سمت راست ماوس را فشار دهید . در منویی که باز می شود

گزینه *Format Data Series* را انتخاب کرده و در قسمت *X Error Bars* Both را انتخاب کنید و مقدار خطا را در قسمت *Fixed Value* بنویسید که برابر ۱*cm* است و خود *Fixed Value* را علامت بزنید. همین کار را برای *Y Error Bar* انجام داده که خطـای آن ۰/۰۵ *s* است و این دفعه Both را انتخاب نمایید.

رسم منحنی های عبوری مختلف از نقاط نمودار

روی یکی از نقاط نمودار رفته و دکمه سمت راست را فشار دهید سپس گزینه *Add Trendline...* را انتخاب کنید در قسمت *Type* ، *Linear* را انتخاب کنید یعنی می خواهید یک خط از میان نقاط عبور دهید .

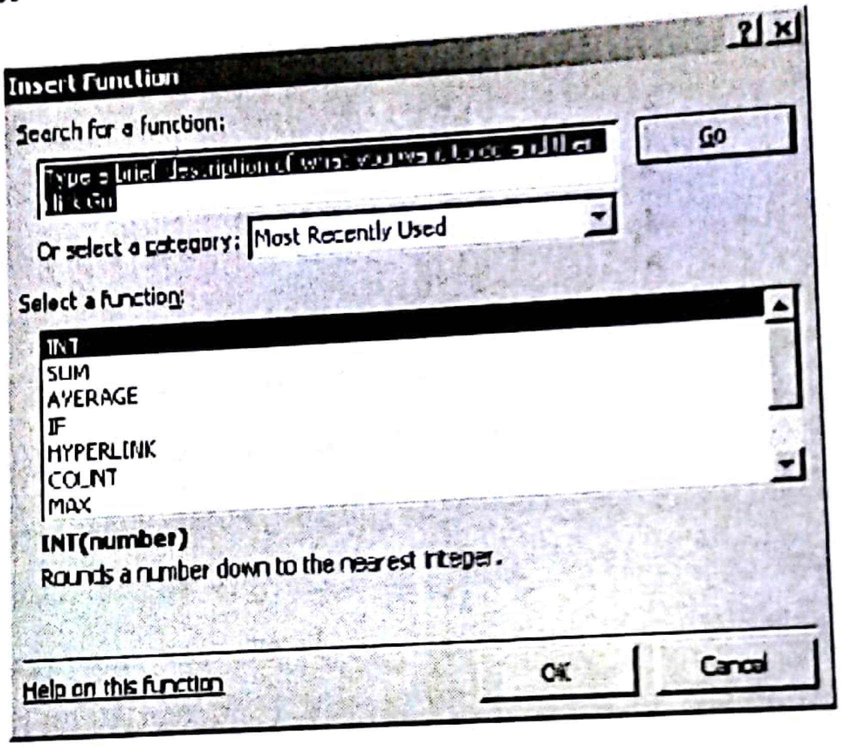
حال به قسمت *Options* رفته و *Display R-squared value on chart* و *Display equation on chart*را علامت بزنید سپس دکمه *OK* را فشار دهید. خط عبوری و معادله آن R^2 که معیاری برای میزان تطبیق کمیات با نمودار می باشد را مشاهده می کنید. می توانید منحنی های دیگری مثل منحنی توانی *(Power)* هم عبور دهید فقط کافی است در قسمت *Type* آن را مشخص کنید.

اگر می‌خواهید خطای b وa را در خط عبوری پیدا کنید $(y = ax + b)$ ماوس را به روی *D2* برده و دکمه سمت چپ موس را پایین نگهداشته و تا *E3* می کشیم حال در قسمت بالای صفحه که در شکل زیر مشخص شده است *fx* را انتخاب می کنیم

در قسمت *select a function* تابع *LINEST* را انتخاب کرده و *OK* را فشار دهید. در *Known_y's*خانه *B2* تا *B9* را انتخاب کرده (به همان طریقی که قبلاً آشنا شده اید) و در *Known_x's* خانه *A2* تا *A9* را انتخاب می کنید. قسمت*Const* و*Stats* را برابر

true قرار دهید. حال کلیدهای *ctrl+shift+enter* را باهم فشار دهید ستون اول مقدار و خطای a و ستون دوم مقدار و خطای b می باشد.

نکته: اگر *Const* را برابر *false* قرار دهید بیان کرده اید که خط از مبدا عبور می کند.



بعضی کارهای محاسباتی

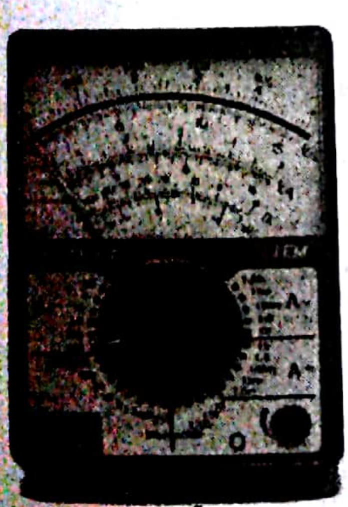
در آزمایش آونگ طبق تئوری می دانیم $g = ۲\pi^{۲}\dfrac{l}{t^{۲}} \Rightarrow t = ۲\pi\sqrt{\dfrac{l}{g}}$ می خواهیم به ازای هر طول و زمان، g مربوط را حساب کنیم. موس را به خانه *C2* برده و بنویسید *=4*PI()^2*A2/B2^2* و دکمه *Enter* را فشار دهید مقدار g در سطر ۲ محاسبه می شود.حال موس را روی *C2* برده و دکمه سمت راست موس را فشار دهید و گزینه *copy* را بزنید. حال موس را روی *C3* برده و دکمه سمت راست موس را پایین نگه داشته و آن را تا *C9* کشیده و رها کنید روی قسمت انتخاب شده دکمه سمت راست را فشار داده و گزینه *paste* را انتخاب نمایید، همه gها محاسبه می شوند طبق واحد $\frac{cm^{۲}}{s}$.

آشنایی با وسایل اندازه گیری

مقدمه

در این بخش به بررسی اصول کار وسایل اندازه‌گیری الکتریکی می پردازیم و با قواعدی که در استفاده از آنها باید رعایت گردد، آشنا می شویم. دستگاه های اندازه گیری الکتریکی در دو نوع *دیجیتال* و *آنالوگ* ساخته می‌شوند. امروزه اکثر دستگاه های اندازه گیری دیجیتال هستند، که به کاربردن آنها بسیار ساده است. در استفاده از این دستگاه ها (در واقع تمام دستگاه های اندازه گیری) باید به حداکثر مقدار سیگنال قابل تحمل ورودی توجه نمود. *خصوصاً در اندازه گیری جریان، به حداکثر جریان ورودی باید بسیار دقت نمود. در غیر این صورت امکان خراب شدن دستگاه اندازه گیری بسیار زیاد است.* دستگاه های اندازه گیری آنالوگ معمولا دارای عقربه هستند، که سیگنال ورودی باعث تغییر مکان آن می‌گردد و مقدار قابل اندازه گیری را می توان از یک صفحه مدرج (که عقربه روی آن جابجا می شود) خواند. در اینجا به اختصار اساس کار مولتی متر را توضیح می دهیم.

✓ مولتی متر (آوومتر) عقربه ای:


شکل(۱) آوومتر عقربه ای

شکل(۱) شمای کلی این دستگاه شامل یک صفحه مدرج به همراه یک کلید انتخاب کمیت یا سلکتور نشان میدهد. همانطور که از اسم آن مشهود است این دستگاه برای سه کار مورد استفاده قرار می گیرد:

۱. آمپرمتر برای اندازه گیری شدت جریان مدار (A)
۲. ولت متر برای اندازه گیری اختلاف پتانسیل (V)
۳. اهم متر برای اندازه گیری مقاومت مدار (Ohm)

AVO

برای استفاده از سلکتور دستگاه به ترتیب بر روی واژه های Amper - Volt - Ohm کمک گرفته می شود.

لازم به تذکر است روی دسته سلکتور نشانگری مو جود است که تعیین کننده دامنه کاری در اندازه‌گیری های شما می باشد.

روی صفحه مدرج علائم V برای اختلاف پتانسیل، A برای شدت جریان، Ω برای مقاومت الکتریکی ، ≈ برای جریان و ولتاژ متناوب و ⎓ برای ولتاژ و جریان مستقیم به کار رفته است.

معمولاً درجه بندی مربوط به مقاومت الکتریکی از راست به چپ و سایر درجه بندی‌ها از چپ به راست می باشد.

هنگام کار با دستگاه توجه به نکات زیر ضروری است:

۱- برای اندازه گیری شدت جریان دستگاه به طور سری در مدار قرار می گیرد.

۲- برای اندازه گیری اختلاف پتانسیل دستگاه را به طور موازی بین دو نقطه از مدار قرار می دهند.

۳- هنگام اندازه گیری مقاومت لازم است جریان برق را قطع کنیم. در غیر اینصورت به دستگاه آسیب می رسد.

۴- اگر سلکتور مقابل درجه ای قرار داده شود و عقربه بیش از حد منحرف شد بلافاصله مدار را قطع کرده و کلید سلکتور را روی درجه بیشتر قرار دهید.

۵- اگر چرخش درجه در جهت عکس بود باید جای فیش‌ها را داخل ترمینال ها جابجا کرد.

۶- همیشه توجه داشته باشید برای اندازه گیری ولتاژ، سلکتور دستگاه در وضعیت اهم نباشد چون باعث سوختن دستگاه خواهد شد .

۷- برای اندازه گیری ولتاژ و جریان همیشه سلکتور را روی بیشترین درجه قرار داده و سپس به تدریج حالت صحیح را انتخاب کنید.

۸- از پیچ تنظیم صفر دستگاه ⦸برای صفر کردن دستگاه (کالیبره کردن) استفاده نمایید. در صورتی که عقربه روی صفر قرار نگرفت، باطری دستگاه فرسوده شده و باید تعویض گردد.

حال با توجه به مطالب فوق با طرز کار یک نمونه آوومتر عقربه ای آشنا می شویم.

الف) اندازه گیری مقاومت

این محدوده برای اندازه گیری مقدار مقاومت مدار است . بنابراین سلکتور را روی محدوده اهم متر قرار دهید . این محدوده از چند بخش تشکیل شده است .
با توجه به اینکه چه مقدار مقاومت در مدار دارید بایستی سلکتور را روی یکی از اعداد قرار دهید .

قبل از این کار باید عقربه را صفر نمائید لذا یک سر سیم رابط را به ترمینال (Com) و سیم رابط دیگر را به ترمینال اهم (Ω) دو سر سیم ها را به هم اتصال دهید . زیر صفحه مدرج یک پیچ تنظیم وجود دارد (⦸) لذا با چرخاندن آن به سمت چپ و راست عقربه را روی عدد صفر (اهم) تنظیم نمائید .

سپس دو سر سیم را به مدار مورد نظرتان اتصال دهید . عقربه شروع به حرکت می‌نماید به خط مدرج اهم متر نگاه کنید .
مقاومت را به صورت زیر بخوانید:

عددی که سلکتور مقابل آن قرار دارد × عددی که عقربه نشان می دهد = مقاومت

تذکر مهم:

برای اندازه گیری مقدار مقاومت مدار بایستی حدود آن را در نظر گرفته تا متناسب با آن سلکتور را تنظیم نمود اگر عقربه به سمت راست یا چپ چسبید نشان آن است که سلکتور روی عدد درست تنظیم نشده است .
برای هر بار اندازه مقاومت لازم است صفر دستگاه توسط پیچ تنظیم گردد.

ب) اندازه گیری ولتاژ

برای اندازه گیری ولتاژ مدار باید سلکتور را در محدوده ولتمتر قرار داده شود . همانگونه که ملاحظه می نمائید روی دستگاه دو قسمت برای ولتاژ درنظر گرفته شده است.
جریان برق دو نوع است: مستقیم (DC)⎓ و متناوب (AC) ≈

بنابراین برای اندازه گیری جریان مستقیم یا متناوب ، سلکتور را در آن محدوده قرار می‌دهید.

در روی صفحه مدرج دو کمان در بالا قرار دارد که کنار هر یک علامت (V,A) سمت راست آن نوشته شده که از صفر تا یک عددی (با توجه به نوع مولتی متر) در آن درج شده است . مولتی متر مورد مطالعه در این آزمایشگاه از صفر تا ۵ و یکی از صفر تا ۱۵ مدرج شده است .

صفر خط ولتمتر در سمت چپ است همچنین علامت اختصاری ⎓ و ≈ نیز در سمت چپ قرار دارد. برای تنظیم صفر ولتمتر بایستی دو سر سیمهایی که یک سر آنها به ترمینال(Com) و یک سر فیش دیگر در ترمینال(V,A) قرار دارد از هم جدا باشند سپس به وسیله پیچ تنظیم ، عقربه را روی صفر تنظیم می نمایم .

سیمهای دستگاه را به دو سر مدار وصل نموده، عقربه روی خط ولتاژ حرکت خواهد کرد . اگر عقربه حرکت نکرد یا انحراف خیلی کم بود سلکتور را مقابل درجه کوچکتر قرار داده تا مقیاس مناسب به دست آید.

مقدار واقعی جریان و ولتاژ از قاعده زیر به دست می آید:

$$\text{جریان یا ولتاژ} = \frac{\text{عدد خوانده شده روی کمان}}{\text{آخرین عدد روی همان کمان}} \times \text{عدد سلکتور}$$

توجه داشته باشید عدد عقربه و عدد انتهای درجه بندی از روی یک قوس درجه بندی انتخاب شود.

برای اندازه گیری جریان و ولتاژ مستقیم از روی کمان اول و دوم بالا (V,A ⎓) قرائت شود و برای اندازه گیری ولتاژ و جریان مستقیم از کمان سوم و چهارم(V,A ≈) خوانده می شود. توجه داشته باشید که سلکتور روی قسمت ولتاژ یا جریان متناوب باشد.

مثال: رنج سلکتور روی ۱/۵ ولت قرار دارد و عقربه مقابل عدد ۳ از کمان (۵-۰) و عدد ۹ از کمان(۱۵-۰) قرار گرفته است ولتاژ اندازه گیری شده در هر دو حالت چقدر است؟

$$\text{ولتاژ} = \frac{1/5}{5} \times 3 = 0/9V$$

$$\text{ولتاژ} = \frac{1/5}{15} \times 9 = 0/9V$$

بنابراین در قرائت کمیت اندازه گیری کمان انتخاب شده دخالتی در نتیجه اندازه گیری ندارد.

دقت اندازه گیری‌ها

هرگاه کمیتی اندازه گیری شود باید دقت آن نیز مشخص شود. دقت هر وسیله کمترین مقدار تغییراتی است که آن وسیله قادرِ به اندازه گیری آن است. دقت اندازه گیری یک وسیله لزوماً ثابت نیست!

الف) دقت در اندازه گیری جریان و اختلاف پتانسیل

مثال قبل را در نظر می گیریم. روی کمان(۵-۰) بین هر دو عدد متوالی (۱-۰) به ۱۰ قسمت مساوی تقسیم شده چون آوومتر در حالت ۱/۵ ولت قرار دارد. فاصله بین خطوط ریز روی درجه بندی ۰ تا ۱۰ برابر است با:

$$\Delta V = \frac{1/5}{5 \times 10} = 0/03V = 30mV$$

بنابراین دقت اندازه گیری $0/03V$ بوده ولتاژ اندازه گیری در مثال قبل را باید به این صورت بنویسیم:

$$V = (0/9 \pm 0/03)V$$

ب) دقت در اندازه گیری مقاومت:

درجه بندی کمان مربوط به مقاومت یکسان نیست، بنابراین حتی برای یک رنج معین(مثلاً ۱×)دقت اندازه گیری مشخص نیست. اگر عقربه در حدود وسط صفحه باشد، دقت اندازه گیری حدود ۳٪ است. مقدار مقاومت این عدد در بقیه جاها بیشتر بوده و اگر انحراف عقربه در حدود ۱۰٪ یا ۹۰٪ بیشینه انحراف باشد، دقت اندازه گیری ۱۰% خواهد بود پس بهترین دقت در اندازه گیری هنگامی است که عقربه تقریباً در وسط قرار داشته باشد.

برای تعیین دقت در اندازه گیری مقاومت، فاصله خطی را که عقربه (تقریباً) روی آن قرار دارد تا خط قبلی و بعدی به دست آورده و میانگین آن دو را برابر دقت در اندازه گیری به کار می بریم (خطای تصادفی)

مثال: سلکتور روی رنج $\times ۱۰۰\Omega$ قرار دارد و عقربه تقریباً روی عدد ۵۰ قرار دارد. مقدار مقاومت $R = ۵۰ \times ۱۰۰ = ۵۰۰۰\Omega$ می باشد. خط قبل از ۵۰ معادل ۴۵ و خط بعد آن معادل ۶۰ می باشد در نتیجه $\Delta R = \frac{|۶۰ - ۴۵|}{۲} \times ۱۰۰\Omega = ۰/۷۵\,k\Omega$ و مقدار اندازه گیری باید به صورت $R = (۵ \pm ۰/۷۵)k\Omega$ نوشت.

✓ مولتی متر (آوومتر) دیجیتالی

در شکل(۲) تصویر آوومتر دیجیتالی *HIOKI3Z00* نشان داده شده است که به توضیح مختصری از قسمتهای آن می پردازیم:

الف) قسمت ورودی :

از چهار ترمینال ۱۰A ، *Ω.mA* ، Com- و V تشکیل شده. ترمینال Com زمین مولتی‌متر است و همواره یکی از سیمها باید به آن وصل شود.

- برای اندازه گیری مقاومت، سیم رابط دیگر به ترمینال *Ω* وصل می شود.
- برای اندازه گیری ولتاژ سیم رابط دیگر به ترمینال *V* وصل می شود.
- برای اندازه گیری جریان کمتر از ۲۰۰ mA سیم رابط دیگر به ترمینال mA وصل می شود.
- برای اندازه گیری جریان کمتر از ۱۰ A سیم رابط دیگر به ترمینال ۱۰ A وصل می شود.

شکل(۲) آوومتر دیجیتال

ب) کلیدهای کنترل

کلید AC/DC : در حالت معمولی (پس از روشن کردن آوومتر) دستگاه در حالت DC قرار دارد ولی برای اندازه گیری

جریان و ولتاژ متناوب با فشردن این کلید علامت AC روی صفحه نمایش ظاهر می‌شود.

کلید ADJ: برای تنظیم صفر دستگاه به کار می رود که در هر رنج باید سیمهای رابط را به یکدیگر اتصال داده و کلید ADJ را فشار دهید تا علامت تنظیم یعنی ADJ روی صفحه ظاهر شود.

کلید RANGE: دستگاه را در حالت اتوماتیک AUTO قرار می دهد و بیشتر برای اندازه گیری ولتاژ و مقاومت به کار می رود که دستگاه را در حالت mV یا V قرار می دهد و همچنین Ω ، $k\Omega$ و $m\Omega$ تنظیم می کند و با دوبار فشار دادن آن به حالت عادی برمی گردد.

کلید HOLD با فشار دادن این کلید مفروضات روی صفحه نمایش ثابت می شود و برای خارج شدن از حالت HOLD یک مرتبه دیگر کلید HOLD را فشار دهید.

تذکر:

در صورتی که جریان اعمالی از مقدار رنج زیادتر است دستگاه صوت ممتد خواهد زد که در اینصورت بلافاصله رنج دستگاه را زیادتر کنید.

تست دیود و استمرار (اتصال یابی)

در آومتر دیجیتالی می توان مدار را عیب یابی کرد یعنی از قطع بودن یا نبودن مدار اطمینان پیدا کرد به همین منظور چنانچه یک سر سیم به ترمینال Com و سیم دیگر به ترمینال (Ω) وصل باشد اگر مدار سالم باشد دستگاه صوت خواهد زد.

چند تذکر مهم:

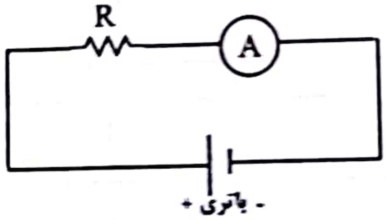
۱- اگر از حدود شدت جریان اطلاعی ندارید ، از بالاترین رنج دستگاه شروع کنید
۲- هنگام استفاده از آمپرمتر وجود مصرف کننده ضروری است. هرگز دو سر آمپرمتر به دو سر منبع تغذیه وصل نکنید زیرا خواهد سوخت.
۳- همیشه پس از پایان کار با مولتی‌متر آن را خاموش کنید.

روش انجام آزمایش،

باتری که در اختیار شما قرار داده شده را به دوسر ولتمتر عقربه ای وصل کنید و برای رنج های مختلف مقدار ولتاژ و دقت آن را اندازه‌گیری کنید و در جدول۱ یادداشت نمایید.

حال مقدار ولتاژ را با ولتمتر دیجیتالی اندازه گیری کنید و در جدول(۲) یادداشت نمایید.(توجه داشته باشید دقت ولتمتر دیجیتالی برابر تعداد رقم های اعشاری دستگاه بر حسب رنج خود دستگاه می باشد)

برای اندازه گیری جریان، باتری را با یک مقاومت $1k\Omega$ و آمپرمتر عقربه ای مطابق شکل(۳) به هم ببندید و برای رنجهای مختلف جدول(۳) را کامل کنید.



شکل(۳)

۱- با توجه به دو جدول های ۱، ۲ و ۳، برای اینکه دقت اندازه گیری بالا برود چه باید کرد؟

۲- فرق بین دقت اندازه گیری یک کمیت و خطای آن چیست؟

۳- چرا صفر اهم متر مخالف جهت صفر ولت متر و آمپرمتر می باشد؟

جدولهای آزمایش اندازه گیری

رنج ولتمتر V	۰/۵	۱/۵	۵	۱۵	۵۰
ولتاژ از کمان ۵-۰					
دقت اندازه گیری					
ولتاژ از کمان ۱۵-۰					
دقت اندازه گیری					

جدول۱

از طریق ولتمتر دیجیتالی	مقدار نوشته شده روی باتری

جدول۲

رنج آمپرمتر A	۱/۵ m	۱۵ m	۱۵۰ m	۵۰ m
جریان از کمان ۵-۰				
دقت اندازه گیری				
جریان از کمان ۱۵-۰				
دقت اندازه گیری				

جدول۳

آزمایش شماره ۱

اندازه گیری مقاومت

هدف:
- *تعیین مقدار مقاومت با استفاده از جدول رنگها*
- *اندازه گیری مقاومت با استفاده از اهم متر دیجیتالی و عقربه ای*
- *تحقیق روابط مقاومت معادل به صورت سری و موازی*
- *تحقیق قانون اهم*

وسایل لازم: مقاومت های مختلف، آوومتر عقربه‌ای، آوومتر دیجیتالی، منبع تغذیه متغیر و سیم رابط

مبانی نظری

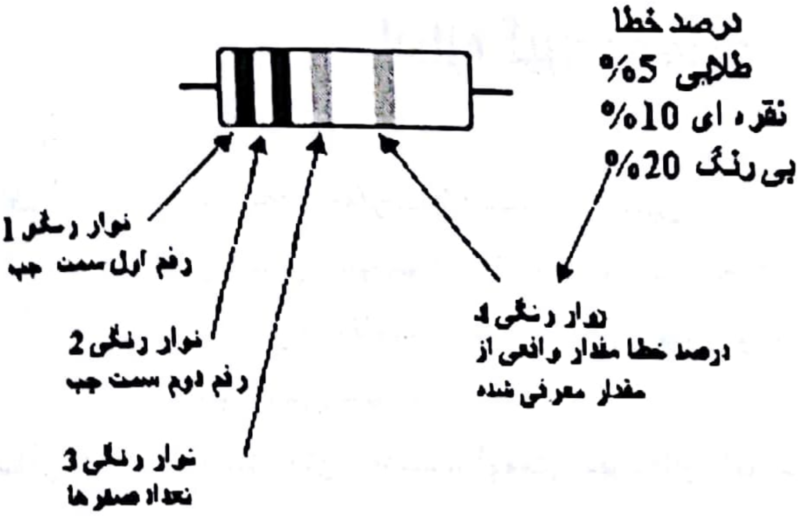
مقاومت الکتریکی

یک مقاومت ایده‌ال عنصری است با یک مقاومت الکتریکی که صرفنظر از ولتاژ اعمالی به دو سرش یا جریان الکتریکی عبوری از آن ، ثابت می‌ماند. اما بدلیل اینکه مقاومتهای جهان واقعی نمی‌توانند این شرایط ایده‌ال را برآورده سازند، آنها را بگونه‌ای طراحی می‌کنند که در برابر تغییرات دما و دیگر عوامل محیطی ، نوسانات کمی در مقاومت الکتریکی شان ایجاد شود. مقاومتها ممکن است که ثابت یا متغیر باشند. مقاومتهای متغیر *پتانسیومتر* یا *رئوستا* نیز خوانده می‌شوند و این اجازه را می‌دهند که مقاومت توسط تنظیم یک میله یا لغزش یک ابزار کنترلی ، تغییر کند.

مقاومت در مدارهای الکتریکی، یک قطعه مصرف کننده انرژی است که برای تنظیم ولتاژ یا جریان و یا ایجاد گرما بکار می‌رود. مقاومت‌های معمولی دو نوع‌اند، سیمی و ترکیبی. برای جریان‌های زیاد معمولاً از مقاومت‌های سیمی استفاده می‌شود. در مدارهای الکترونیکی بیشتر نوع ترکیبی آن به کار می رود. مقدار مقاومت‌های ترکیبی را معمولاً با نوارهای رنگی بر روی آن مشخص می‌کنند. معنی رنگها در جدول(۱) و روش خواندن این‌گونه مقاومت‌ها در شکل(۱) مشخص شده است.

رنگ	شماره
سیاه	0
قهوه ای	1
قرمز	2
نارنجی	3
زرد	4
سبز	5
آبی	6
بنفش	7
خاکستری	8
سفید	9

جدول (۱)



شکل(۱)

همانطور که در شکل(۱) نیز می بینید، نوار۲ و۱ به ترتیب رقمهای یکان و دهگان یک عدد دو رقمی (با توجه به جدول کد رنگها) را مشخص می کنند. مثلا اگر نوار ۱ قهوه ای، نوار ۲ قرمز باشد عدد ۱۲ را داریم و یا اگر نوار ۱ زرد و نوار ۲ بنفش باشد عدد ۴۷ را نشان می دهد. نوار ۳ تعداد صفرهائی است که باید سمت راست عدد حاصل از دو رنگ اول و دوم قرار داد. پس اگر نوار ۳، زرد باشد باید چهار تا صفر سمت راست عدد حاصل قرار داد.

مثال :

نوار ۱ : قهوه ای، نوار۲: قرمز، نوار۳ : زرد = ۱۲۰۰۰۰ اهم

نوار ۱ : سبز، نوار۲: آبی ، نوار۳ : سبز = ۵۶۰۰۰۰۰ اهم

ترتیب نوارها را می توان با توجه با اینکه نوار خطا (یا تلرانس) (طلایی ، نقره ای یا بی رنگ) باید سمت راست قرار گیرد، معین کرد. علاوه بر این، نوارهای رنگی (همان طور که در شکل نیز نمایان است) به طور نامتقارن روی بدنه نقش بسته اند. به طوری که به یکی از گوشه های بدنه مقاومت نزدیک ترند. برای خواندن کد رنگ ، مقاومت را

باید طوری گرفت تا، نواری که از سه نوارهای دیگر فاصله بیشتری دارد سمت راست قرار گیرد. این نوار همان نوار ۴ (نوار خطا) است.

چون مقاومتها به صورت انبوه ساخته می شوند امکان اندازه گیری و شماره گذاری تک تک آنها وجود ندارد. درنتیجه ممکن است اندازه واقعی هر مقاومت با آنچه که با کد رنگ روی آن نوشته شده متفاوت باشد. نوار رنگی۴، مقدار درصد تفاوت مقاومت واقعی را با اندازه‌ای که روی آن نقش بسته نشان می‌دهد. مثلا اگر نوار۴ ، طلایی باشد احتمالاً اندازه واقعی تا ۵٪ با مقداری که کد رنگ نشان می دهد، تفاوت دارد.

بنابراین برای مثال قبل مقدار واقعی مقاومتی که دارای نوار ۱ : قهوه ای، نوار۲: قرمز، نوار۳ : زرد و نوار۴: نقره ای می‌باشد به صورت زیر نوشته می شود:

$$R = ۱۲۰۰۰۰\Omega = ۱۲۰\ k\Omega$$

$$\Delta R = ۱۲۰۰۰۰ \times \frac{۱۰}{۱۰۰} = ۱۲۰۰۰\ \Omega = ۱۲\ k\Omega$$

$$R - \Delta R \leq R \leq R + \Delta R$$

$$۱۰۸۰۰۰ \leq R \leq ۱۳۲۰۰۰$$

باید دقت کرد که هر مقاومت، اندازه مشخصی از جریان را می تواند عبور دهد. **اگر جریان عبوری از آن از حد بالای جریان قابل تحمل بیشتر باشد، آنقدر گرم می شود که** احتمالا می سوزد. در واقع هر مقاومت توان معینی را می تواند تحمل کند. **مقاومت ها** را با توانهای متفاوتی می سازند. هنگام استفاده از مقاومت در هر مدار ***باید* به توان(P)** (در نتیجه به جریان مجاز $I_{max} = \sqrt{\frac{P}{R}}$) آن توجه کرد.

روش انجام آزمایش

الف) اندازه گیری مقاومت با استفاده از جدول رنگ و اهم متر

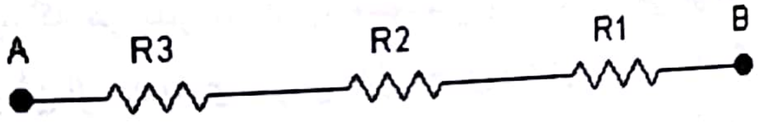
۵ مقاومت مختلف را انتخاب کنید و به ترتیب روی برد آزمایشگاه قرار داده و **مقدار هر** کدام را از روی رنگ نوارها و رنگ تلرانس آن به دست آورید و در **جدول(۲) یادداشت** نمایید.

سپس با استفاده از اهم متر عقربه ای و دیجیتالی به طور جداگانه اندازه مقاومت ها را به دست آورید و در جدول(۲) یادداشت نمایید. البته توجه داشته باشید که در اهم متر عقربه ای در هر رنج باید جداگانه کالیبره شود.

تذکر: به هیچ عنوان دو سر مقاومت را با دست به اهم متر وصل نکنید چون در این حالت مقدار اندازه گیری شده دارای خطای زیادی خواهد بود.

ب) به دست آوردن مقاومت معادل و تحقیق رابطه سری و موازی

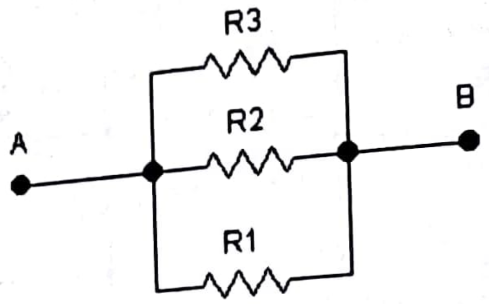
سه مقاومت دلخواه را انتخاب کرده و مقدار آنها را از طریق اهم متر دیجیتالی اندازه بگیرید و در جدول(۳) ثبت کنید. سه مقاومت را به طور سری روی برد به هم ببندید(مطابق شکل۲) سپس دو سر اهم متر را به نقطه B و A وصل کنید و مقاومت کل مدار را بخوانید و در جدول(۳) یادداشت نمایید و علت اختلاف مقدار محاسبه شده با مقدار اندازه گیری شده را بیان نمایید.



شکل(۲) بهم بستم مقاومت ها به طور سری

در حالت سری مقاومت معادل برابر است با : $R_{\text{معادل}} = R1+R2+R3$

در مرحله بعد سه مقاومت را مطابق شکل(۳) به صورت موازی بسته و مقاومت معادل را با استفاده از آوومتر دیجیتالی به دست آورید و در جدول(۳) یادداشت نموده و آن را با رابطه $\frac{1}{R_{\text{معادل}}}=\frac{1}{R1}+\frac{1}{R2}+\frac{1}{R3}$ مقایسه نمایید.



شکل(۳) بهم بستم مقاومت ها به طور موازی

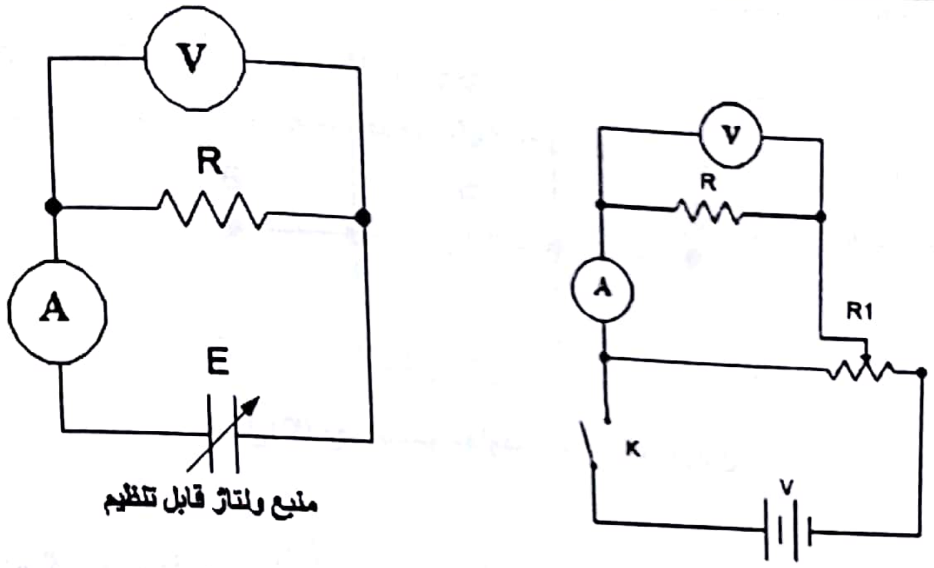
ج) اندازه گیری مقاومت از طریق قانون اهم (تحقیق قانون اهم)

طبق قانون اهم در یک دمای ثابت، شدت جریانی که از یک مقاومت عبور می‌کند متناسب با اختلاف پتانسیل دو سر آن است. ضریب تناسب را با R نشان می‌دهند و به آن مقاومت الکتریکی جسم در دمای مذکور گویند. یعنی:

$$V = RI$$

که V اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت R و I جریان عبور کرده از آن است. در بسیاری از رساناها تغییرات V برحسب I خطی است (یعنی R ثابت است). چنین اجسامی از *قانون اهم* پیروی می‌کنند که به آنها اجسام اهمی هم می‌گویند. اما در بعضی رساناها این تغییرات خطی نیست. به عبارت دیگر، بعضی اجسام از قانون اهم پیروی نمی‌کنند. در این آزمایش به تحقیق قانون اهم و بررسی رفتار مقاومتهای اهمی در ولتاژهای مختلف می‌پردازیم.

یکی از مقاومتهایی را که در اختیار دارید بعنوان مقاومت R در مداری مطابق شکل(۴-الف) قرار دهید. در این مدار R_1 یک رئوستا است که برای تغییر اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت R مورد استفاده قرار می‌گیرد. اگر منبع تغذیه با ولتاژ قابل تنظیم در اختیار دارید، می توانید با یک مقاومت $R = ۱۰k\Omega$ مدار شکل (۴- ب) را ببندید. در هر صورت به یاد داشته باشید که به کمک یک منبع ولتاژ ثابت و یک مقاومت متغیر (مثلا رئوستا) می توانید یک منبع ولتاژ قابل تنظیم بسازید.



ب   شکل (۴)   الف

مدار را وصل کنید و با تغییر لغزنده رئوستا (یا با تغییر ولتاژ منبع ولتاژ قابل تنظیم) اختلاف پتانسیل‌های مختلفی را به دو سر مقاومت اعمال کنید. به ازای هر ولتاژ، جریانی را که از مقاومت عبور می‌کند، بوسیله آمپرمتر بخوانید و در جدول(۴) ثبت کنید.

حال نمودار ولتاژ بر حسب جریان را روی کاغذ میلیمتری رسم کنید و شیب آن را روی نمودار به دست آورید. شیب نمودار را با مقاومتی که از طریق اهم متر اندازه گیری کرده اید مقایسه کنید.

محاسبه خطا: آنچه در این آزمایش اندازه گیری می شود، ولتاژ و جریان است. به کمک ولتاژ و جریان های اندازه‌گیری شده در هر تجربه، مقاومت از رابطه $R=\frac{V}{I}$ محاسبه می شود. تابع خطای نسبی را می توان به صورت زیر به دست آورد:

$$\ln R = \ln(\frac{V}{I}) = \ln(V) - \ln(I)$$

$$\frac{dR}{R} = \frac{dV}{V} - \frac{dI}{I}$$

درنتیجه، حداکثرخطای نسبی از رابطه زیر به دست می آید:

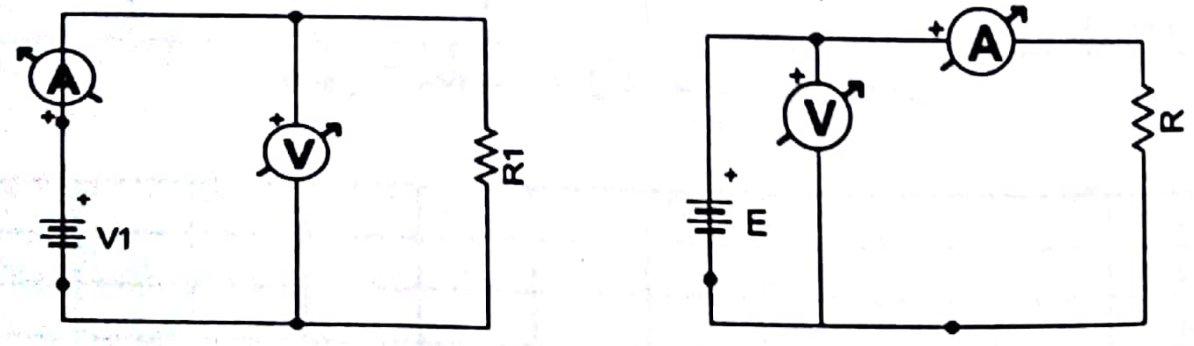
$$\left.\frac{\Delta R}{R}\right|_{max} = \left|\frac{\Delta V}{V}\right| + \left|\frac{\Delta I}{I}\right|$$

که در آن ΔV و ΔI به ترتیب، خطا در اندازه گیری ولتاژ(V) و جریان (I) هستند. در صورتی که تنها منبع خطا، دقت دستگاههای اندازه گیری باشد، ΔV (یا ΔI) نصف کوچکترین درجه موجود روی نشانگر دستگاه اندازه گیری است. اگر از دستگاه های دیجیتال استفاده می کنید، خطا را نصف کوچکترین مقداری که دستگاه در آن دامنه اندازه گیری می کند، بگیرید. خطای نسبی برای مقادیر اندازه گیری شده در هر تجربه را نیز به جدول(۴) بیفزائید. حدود دقت آزمایش را برآورد نمائید.

۱- چرا در آزمایش قانون اهم اگر مقاومت پر اهم باشد باید ولت متر قبل از آمپرمتر قرار گیرد؟(شکل۵)

۲- اندازه گیری مقاومت از طریق سری و موازی کدام یک خطای بیشتری دارد؟ چرا؟

۳- اگر در آزمایش قانون اهم مقاومت $R = ۱۰۰\Omega$ و $P = \frac{۱}{۲}W$ انتخاب کنیم حداکثر ولتاژی که می توان اعمال کرد تا مقاومت نسوزد چقدر است؟



اندازه گیری مقاومت کم اهم | شکل(۵) | اندازه گیری مقاومت پر اهم

جدولهای آزمایش شماره ۱

اندازه گیری مقاومت

شماره	رنگهای مقاومت	رنگ تلرانس	R' از جدول رنگها	تلرانس $\Delta R'$	R'' عقربه ای	دقت عقربه ای	دیجیتالی	$\frac{\lvert R-R'\rvert}{R}\times 100$	$\frac{\lvert R-R''\rvert}{R}\times 100$

جدول(۲) : اندازه گیری مقاومت از طریق جدول و اهم متر عقربه ای و دیجیتالی

حالت	R1	R2	R3	$R_{معادل}$	R اندازه‌گیری	خطای نسبی	علت اختلاف
سری							
موازی							

جدول(۳) مقاومت معادل در حالت سری و موازی

V										
I										
R										

جدول(۴)

آزمایش شماره۲

تحقیق رابطه $R = \rho \frac{L}{S}$

هدف: بررسی عوامل مؤثر در مقاومت الکتریکی و اندازه گیری مقاومت ویژه نمونه سیم فلزی استوانه ای شکل

وسایل لازم: منبع تغذیه متغیر، آوومتر عقربه ای، آوومتر دیجیتالی، تخته سیم مطابق شکل(۱) شامل سیمهای مختلف از پنج سیم دارای جنس و قطرهای مختلف تشکیل شده است.

سیم های شماره ۱ و ۲ و ۳ و ۴ از جنس کنستانتانت بوده، به ترتیب دارای قطرهای ۱، ۰/۷، ۰/۷، ۰/۵ و ۰/۳۲ میلی متر و سیم شماره ۵ برنج می باشد که دارای قطر ۰/۵ میلیمتر است

مبانی نظری

مقاومت هر سیم طویل یکنواخت که دارای سطح مقطعی یکسان است از رابطه $R = \rho \frac{L}{S}$ به دست می‌آید که در آن L طول سیم S سطح مقطع سیم و ρ مقاومت ویژه سیم است. اگر ρ مستقل از جریان عبوری از سیم باشد مقاومت " اهمیک" و در غیر اینصورت "غیر اهمیک" خواهد بود.

در آزمایشگاه وقتی بخواهند رابطه بین یک کمیت را با پارامترهای دیگر بسنجند ابتدا پارامترهایی که کمیت ممکن است در آن دخالت داشته باشند را در نظر می گیرند سپس برای یک پارامتر مشخص، بقیه پارامترها را ثابت در نظر می گیرند و اثر پارامتر متغیر را روی کمیت بررسی می کنند.

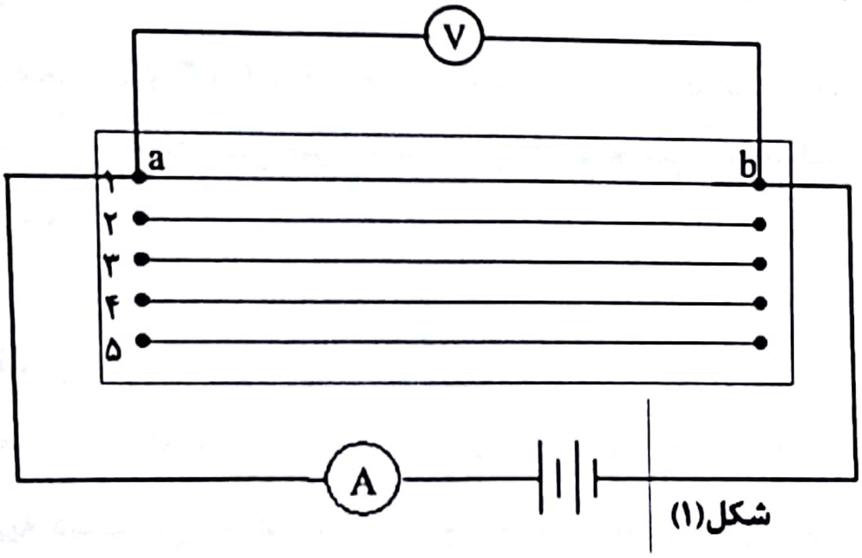
در این آزمایش پارامترهایی را که در تعیین R دخالت دارند عبارتند از طول، سطح مقطع، جنس، دما، فشار و ... که در هر مرحله یکی را متغیر و بقیه را ثابت در نظر می-

گیریم و رابطه بین R و L را به دست می‌آوریم. در این آزمایش رابطه بین مقاومت با طول و سطح مقطع سیم را بررسی می کنیم:

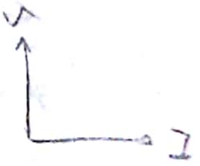
روش انجام آزمایش

الف) تابعیت ولتاژ با جریان $(R = \frac{V}{I})$

برای نشان دادن خطی بودن مقدار مقاومت اهمی سیم ها به ازای تغییرات ولتاژ و جریان از سیم شماره۱ استفاده کرده، مدار شکل(۱) را ببندید، با تنظیم جریان مختلف، ولتاژ دو سر سیم a و b را اندازه گرفته و در جدول(۱) ثبت کنید.



شکل(۱)

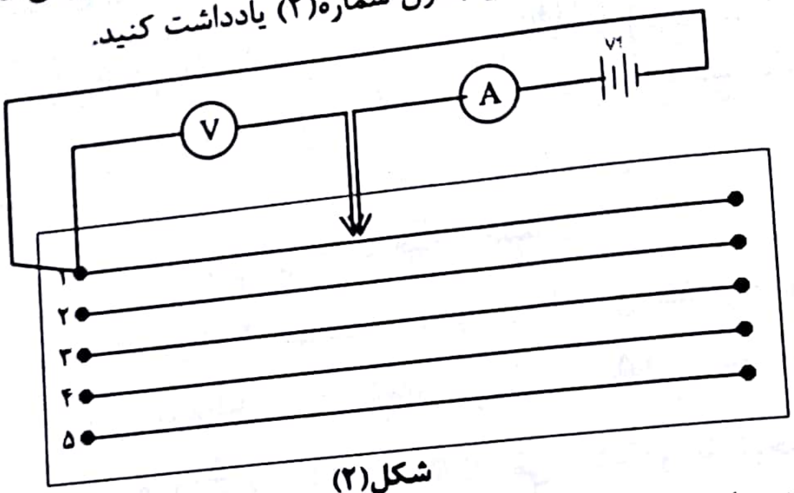


- نمودار تغییرات ولتاژ نسبت به جریان را رسم کرده و بر اساس آن مقاومت این سیم را تعیین کنید.
- درصد خطای R در ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی آمپر را نسبت به R محاسبه شده از روی منحنی حساب کنید.
- آیا این سیم دارای مقاومت اهمیک می باشد؟

ب) تابعیت مقاومت با طول سیم $R=f(L)$

از سیم شماره۱ استفاده کرده و مدار شکل(۲) را ببندید.

ولتاژ منبع تغذیه را روی ۱V تنظیم کنید و ولت متر عقربه‌ای را روی رنج ۵V قرار دهید و آمپرمتر دیجیتالی را روی ۲۰۰mA قرار دهید و به ازای طولهای مختلف ولتاژ و جریان را اندازه گیری نمایید و در جدول شماره(۲) یادداشت کنید.



شکل(۲)

- نمودار تغییرات R نسبت به طول L را رسم کرده و شیب خط را به دست آورید.
- با اندازه گیری قطر سیم (۲r) سطح مقطع(S) سیم را به دست آورید. $S = \pi r^2$
- با اندازه گیری شیب نمودار(m) مقاومت ویژه سیم را محاسبه کنید.($\rho = mS$)

محاسبه خطا

از رابطه $R = \rho \dfrac{L}{S}$ لگاریتم و دیفرانسیل گرفته و به رابطه زیر برسید،

$$\frac{\Delta \rho}{\rho} = \frac{\Delta V}{V} + \frac{\Delta I}{I} + 2\frac{\Delta r}{r} + \frac{\Delta L}{L}$$

با جاگذاری، خطای نسبی در اندازه گیری مقاومت ویژه را محاسبه کنید.

از روی نمودار خطای نسبی در اندازه گیری مقاومت ویژه را محاسبه کنید.

ج) تابعیت مقاومت با قطر سیم $R=f(S)$

آزمایش قبل را تکرار کنید اما این بار از سیمهایی با طول ثابت و قطرهای متفاوت استفاده کنید و به ازای هر قطر ولتاژ و جریان را اندازه‌گیری کنید و نتیجه را در جدول(۳) ثبت کنید، طول سیم را نیز اندازه بگیرید($L=$.........)

با رسم نمودار R بر حسب $\frac{1}{S}$ اولاً رابطه بین R و S را تحقیق کنید. ثانیاً با اندازه گیری شیب نمودار(m) مقاومت ویژه را محاسبه کنید.

$$m=\rho L \Rightarrow \rho=\frac{m}{L}$$

$L(m)$	m	$\rho\ (\Omega m)$

محاسبه خطا

با توجه به رابطه(*) $\frac{\Delta\rho}{\rho}$ را برای این حالت حساب کنید.

روی کاغذ میلیمتری که نمودار را رسم نموده اید اولین و آخرین نقطه را مشخص کنید و برای هر کدام مستطیلی به ابعاد $2\Delta\frac{1}{S}$, $2\Delta R$ رسم کنید که $\Delta R = R(\frac{\Delta V}{V}+\frac{\Delta I}{I}), \Delta(\frac{1}{S})=\frac{\Delta S}{S^2}=2\frac{\Delta r}{r}$ می باشد و با توجه به رابطه $\rho=\frac{m}{L}$، $\frac{\Delta\rho}{\rho}$ را محاسبه کنید.

۱- در آزمایش(ب) چرا ولتاژ در طول آزمایش ثابت است؟ اگر تغییرات ولتاژ کم است دلیل آن چیست؟

۲- آیا مقاومت ویژه یک فلز با ظرفیت آن (تعداد الکترونهای رسانشی) ارتباط دارد؟ توضیح دهید.

۳- آیا با اندازه گیری مقاومت ویژه یک فلز می توان جنس آن را تعیین کرد؟

جدولهای آزمایش شماره۲

تحقیق رابطه $R = \rho \frac{L}{S}$

I(میلی آمپر)					
V(ولت)					

جدول(۱)

L(سانتی متر)					
V(ولت)					
I(میلی آمپر)					
$R=V/I$					

جدول(۲)

۲r (mm)	
$S = \pi r^2$ (m^2)	
V	
I	
$R = \frac{V}{I}$	
$\frac{1}{S}$ (m^{-1})	

جدول(۳)

آزمایش شماره۳

پل های امپدانس

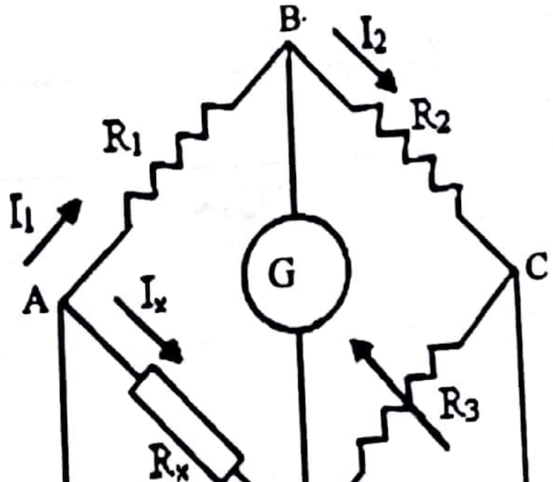
هدف: - آشنایی با پل وتستون و پل تار و اندازه گیری مقاومت مجهول با آنها
- اندازه گیری مقاومت درونی گالوانومتر به روش کلوین

وسایل لازم: منبع تغذیه (باطری)، جعبه مقاومت، گالوانومتر، پل تار، مقاومت‌های معلوم و مجهول.

مبانی نظری

الف) پل وتستون

پل وتستون مداری است که برای اندازه گیری مقاومت مجهول یک جسم یا یک وسیله الکتریکی به کار می‌رود. این مدار در سال ۱۸۴۳ میلادی بوسیله چارلز وتستون دانشمند انگلیسی ابداع گردید. شکل(۱) ساختمان کلی یک پل وتستون را نشان می دهد. عناصر اصلی آن عبارتند از مقاومتهای معلوم (و ثابت) R_1 و R_2 ، مقاومت قابل



شکل (۱)

تغییر R_2 و گالوانمتر G و منبع ولتاژ . همه برای اندازه گیری مقاومت مجهول R_x به کار می روند.

مقاومتها، گالوانومتر و منبع مطابق شکل(۱) به هم بسته می شوند. در حالت کلی گالوانمتر G عبور جریانی را بین نقاط B وD نشان می دهد. اگر مقاومت متغیر را تغییر دهیم، می توانیم حالتی را بوجود آوریم که جریان عبوری از B به D صفر گردد (یعنی گالوانومتر هیچ جریانی را نشان ندهد). در این صورت نقاط B و D هم پتانسیل هستند. برای مدارشکل(۱) در چنین حالتی، داریم:

$$V_{AB} = V_{AD} \quad , \quad V_{BC} = V_{CD} \qquad (1)$$

$$I_1 = I_2 \quad , \quad I_x = I_3 \qquad (2)$$

که در آن I_1 جریان عبوری از مقاومت R_1 و به ترتیب I_2, I_3 و I_x جریان های عبوری از مقاومتهای R_2, R_3 و R_x هستند. با توجه به (۱) داریم:

$$I_1R_1 = I_xR_x \quad , \quad I_2R_2 = I_3R_3 \qquad (3)$$

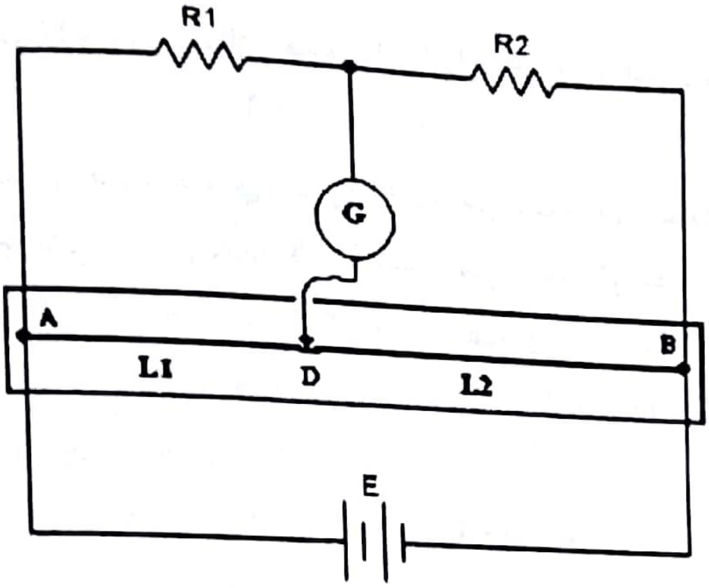
از تقسیم دو رابطه فوق به هم و حذف جریانهای مساوی، داریم:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_x}{R_3} \Rightarrow R_x = \frac{R_1R_3}{R_2} \qquad (4)$$

از روابط فوق می توان مقاومت مجهول R_x را محاسبه نمود.

ب) پل تار

نمونه ساده شده ای از پل وتستون نیز وجود دارد که به آن **پل تار** می گویند. این پل مانند شکل(۲) از یک سیم فلزی مقاومت‌دار AB که روی خط‌کش مدرجی نصب شده تشکیلی گردیده است. لغزنده D که به گالوانومتر G متصل است می‌تواند روی سیم AB حرکت کند. چون مقاومت یک سیم فلزی دارای سطح مقطع یکسان در طول مشخص، متناسب با طول آن است($R = \frac{\rho L}{S}$)، می‌توان دو طول L_1 و L_2 از سیم AB را به عنوان دو مقاومت معلوم پل وتستون در نظر گرفت.



شکل (۲)

در این صورت در شرایط تعادل $\frac{R_1}{R_2} = \frac{L_1}{L_2}$ است و چنانچه یکی از مقاومتهای R_1 و R_2 مجهول باشند، می‌توان آن را از رابطه فوق محاسبه کرد.

روش انجام آزمایش

الف) اندازه گیری مقاومت مجهول با پل وتستون

با توجه به اینکه مبانی نظری آزمایش هیچ محدودیتی برای مقاومت متغیر R_2 قائل نیست ولی در عمل محدویتی وجود دارد چون که در تئوری مقاومت R_2 می تواند از صفر تا بی نهایت تغییر کند ولی در انجام آزمایش داریم:

$$R_{2min} = 1\Omega \qquad R_{2max} = \text{مقدار مشخص}$$

پس مقاومتهای R_1، R_2 و R_x باید طوری انتخاب شوند که در رابطه(۱) صدق کنند، در غیر اینصورت با تغییر مقاومت R_2 پل به تعادل نخواهد رسید.

محاسبات اولیه:

* مقاومت R_x را انتخاب کرده و مقدار واقعی آن را با اهم‌متر اندازه گیری نموده و در جدول(۱) یادداشت نمایید.

* مقاومت R_2 را به دلخواه انتخاب کنید و مقدار آن را در جدول(۱) یادداشت نمایید.

* حداقل و حداکثر مقاومت R_2 را مشخص کنید و در جدول(۱) بنویسید.
* با توجه به رابطه زیر حداقل و حداکثر مقاومت R_1 را محاسبه کنید.

$$R_{1\,min} = \frac{R_x R_3}{R_{2\,max}} \quad , \quad R_{1\,max} = \frac{R_x R_3}{R_{2\,min}} \qquad (5)$$

* مقاومت R_1 را با مقداری بین اعداد به دست آمده انتخاب کنید.

$$R_{1\,min} < R_1 < R_{1\,max}$$

حال با استفاده از مقاومتهای جدول(۱) آزمایش را به صورت زیر انجام دهید:

۱- مدار شکل(۱) مرکب از مقاومتهای R_1 و R_2، جعبه مقاومت R_3 ومقاومت مجهول R_x را ببندید (یکی از سیمهای گالوانومتر را به عنوان کلید در نظر بگیرد). گالوانومتر را روی حساسیت کم قرار دهید و در مراحل بعدی به تدریج حساسیت آن را بالا ببرید.(البته می توان به جای گالوانومتر از یک میکروآمپرمتر نیز استفاده کرد)

۲- سیم آزاد گالوانومتر را یک لحظه خیلی کوتاه وصل کنید (اگر مدت اتصال زیاد باشد، گالوانومتر می‌سوزد) و جهت انحراف عقربه را بخاطر بسپارید.

۳- به کمک جعبه مقاومت، R_2 را تغییر دهید و هر بار سیم آزاد را به گالوانومتر وصل کنید و انحراف آن را مشاهده کنید. این عمل را آنقدر ادامه دهید تا انحراف گالوانومتر صفر گردد و با قطع و وصل سیم عقربه آن حرکتی نداشته باشد.

۴- در این حالت مقدار R_2 را خوانده و با استفاده از رابطه (۴) یا (۵) مقدار R_x را محاسبه کنید.

۵- مقادیر R_1، R_2، R_3 و R_x را در جدول(۲) قرار دهید و با مقدار واقعی آن مقایسه کنید.

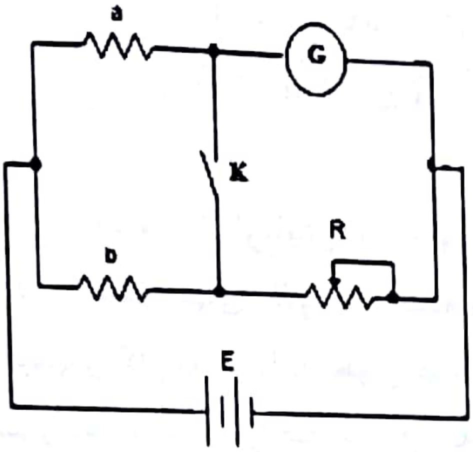
ب) اندازه گیری مقاومت داخلی گالوانومتر به روش کلوین

۱- برای اندازه گیری مقاومت درونی گالوانومتر به روش کلوین مدار شکل(۳) را ببندید (کلید K حتما باز باشد).

۲- در حالیکه کلید K باز است عقربه گالوانومتر انحرافی را نشان می‌دهد (اگر عقربه از صفحه خارج شد، مقاومت R را زیاد کنید). با بستن کلید K عقربه تغییر مکان

می‌دهد. R را آنقدر تغییر دهید تا با باز و بستن کلید تغییر مکان عقربه صفر باشد. در این حالت رابطه پل وتستون برقرار است (چرا؟). برای این آزمایش مقاومت a را ۳۳ اهم و مقاومت b را ۴/۷ کیلواهم بگیرید.

۳- مقادیر R_a ،R_b ،R را در جدول(۳) بنویسید.



شکل(۳)

ج) اندازه گیری مقاومت مجهول با پل تار

۱- مدار شکل(۲) را ببندید (کلید D یعنی اتصال لغزنده با سیم پل باز باشد).

۲- حال لغزنده را وصل کنید و محل آن را آنقدر تغییر دهید تا عقربه گالوانومتر روی صفر قرار گیرد. در این صورت طولهای L_1 و L_2 را اندازه بگیرید و ازرابطه $\frac{R_1}{R_2} = \frac{L_1}{L_2}$ مقدار R_2 را حساب کنید.

۳- نتایج این آزمایش را در جدول(۴) وارد کنید.

محاسبه خطا:

درتمام تجربه های اندازه گیری با پل وتستون رابطه ای به شکل $R_1R_2 = R_xR_2$ داریم، که یکی از کمیتها با اندازه گیری سه کمیت دیگر محاسبه می شود. البته لازم نیست که همه کمیتها مقاومت باشند(مثلا در تجربه پل تار دو تا از کمیتها طول هستند). اگر R_x مقاومت مجهول باشد، آنگاه داریم:

$$R_x = R_2 \frac{R_1}{R_2} \qquad (6)$$

اگر از طرفین رابطه فوق لگاریتم بگیریم، داریم:

$$\ln R_x = \ln R_2 + \ln R_1 - \ln R_3 \qquad (۷)$$

مشتق گیری از (۷) رابطه ای برای محاسبه خطا به دست می دهد:

$$\left.\frac{\Delta R_x}{R_x}\right|_{max} = \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_1}{R_1} + \frac{\Delta R_3}{R_3} \qquad (۸)$$

که در آن ΔR_2 ،ΔR_1 و ΔR_3 خطا در اندازه گیری کمیت های آزمایش است. چون دقت در اندازه گیری مقاومتها بالا است، خطـای نسبی در انـدازه گیـری مقاومت مجهول پائین است. رابطه (۸) را برای بـرآورد خطـای انـدازه گیـری در تجربـه پـل تـار واندازه گیری مقاومت داخلی گالوانومتر(با قرار دادن مقادیر مربوط به هر آزمایش) نیـز می‌توان به کار برد.

۱- با توجه به خطای مقاومتها وبـا اسـتفاده از رابطـه (۸)، از اطلاعـات جـدول(۲) اسـتفاده نمـوده و مقاومـت مجهـول وخطـای نـسبی در انـدازه گیـری آن را محاسبه کنید.

۲- با استفاده از اطلاعات جدول(۳) مقاومت داخلی گالوانمتر را به صورت یک عدد با تعداد درستی رقم معنی دار و ± خطای آزمایش محاسبه نمائید.

۳- * چگونه می توان از پل وتستون برای اندازه‌گیری درجه حرارت و یا فشار یـک محیط استفاده کرد؟

جدولهای آزمایش شماره ۳

پل های امپدانس

R_1 انتخاب شده	$R_{1\,max}$	$R_{1\,min}$	$R_{2\,max}$	$R_{2\,min}$	R_2	R_x اهم متر	شماره آزمایش

جدول(۱)

$\frac{\Delta R_x}{R_x}$	R'_x اهم‌متر	$R_x = R_3 \frac{R_1}{R_2}$	R_3	R_2	R_1	شماره آزمایش

جدول (۲)

R_G	R	R_b	R_a
$\frac{\Delta R_G}{R_G}$	$\frac{\Delta R}{R}$	$\frac{\Delta R_b}{R_b}$	$\frac{\Delta R_a}{R_a}$

جدول (۳)

درصد خطا	R_2 اهم متر	$R_2 = R_1 \frac{L_2}{L_1}$	L_2	L_1	R_1	شماره آزمایش

جدول(۴)

آزمایش شماره ۴

مطالعه رفتار خازنها در مدار DC

هدف: مطالعه رفتار خازن در مدارهای DC، رسم منحنی شارژ و دشارژ خازن، اندازه‌گیری ظرفیت خازن، اندازه گیری ظرفیت خازنهای سری و موازی.

وسایل لازم: منبع تغذیه متغیر DC، ولتمتر، خازنهای ۱۰۰۰ و ۴۷۰ میکروفاراد، کرونومتر، مقاومت $47k\Omega$ یا $100k\Omega$.

مبانی نظری

خازن یکی از اجزاء پرمصرف در مدارهای الکتریکی و الکترونیکی است. خازن یک عنصر ذخیره کننده انرژی است که انرژی در میدان الکتریکی بین جوشنهای آن ذخیره می‌شود.

ساده‌ترین نوع خازن از دو صفحه فلزی جدا از هم که در مجاورت یکدیگر قرار دارند تشکیل شده است. اگر این دو صفحه را به دو سر یک مولد DC وصل کنیم، الکترونها به صفحه‌ای که به قطب منفی مولد وصل شده، می روند. نیروی دافعه این الکترونها بر الکترونهای صفحه دیگر، آنها را به قطب مثبت مولد می‌راند. به این ترتیب صفحه دوم دارای بارمثبت خواهد شد. حرکت بارها تا زمانی ادامه می‌یابد که جوشن‌های خازن با قطب‌های مولد هم پتانسیل شوند. در این صورت عبور بارها متوقف می‌شود و خازن مانند یک کلید باز در مدار عمل می‌کند. در چنین صورتی می‌گوییم خازن *شارژ* (پر) شده است. حال اگر مولد را از مدار خارج کرده و دو سر خازن را بهم وصل کنیم بارهای دو جوشن با یک جریان لحظه‌ای حاصل از حرکت بارها، همدیگر را خنثی می‌کنند و خازن *دشارژ* (تخلیه) می‌شود.

نسبت بار صفحات خازن به اختلاف پتانسیل آنها مقداری ثابت است که به شکل هندسی و خواص الکتریکی عایق بین جوشن‌های آن بستگی دارد. این نسبت را *ظرفیت خازن* می‌گویند. واحد اندازه گیری ظرفیت، *فاراد* است. خازنهائی که در مدارهای الکتریکی به کار می روند، معمولا خیلی کوچکتر از یک فاراد هستند. به همین

دلیل، واحدهای عملی‌تر آن *میکروفاراد* و *پیکوفاراد* می‌باشند. قرار دادن یک دی‌الکتریک بین جوشن‌های خازن ظرفیت آن را K برابر افزایش می‌دهد که K ضریب دی‌الکتریک آن عایق است. جدول(۱) ضریب دی‌الکتریک چند ماده مختلف را نشان می‌دهد.

اسید تیتانات	میکا	شیشه	کاغذ	هوا	خلا	ماده
۱۰۰	۵/۴	۴/۵	۳/۵	۱/۰۰۰۵۴	۱	ضریب دی الکتریک

جدول(۱) ضریب دی الکتریک برخی از مواد

همانطور که اشاره شد ظرفیت یک خازن به ابعاد آن بستگی دارد. درمورد خازن مسطح این بستگی با رابطه:

$$C = K\varepsilon_0 \frac{A}{d} \qquad (1)$$

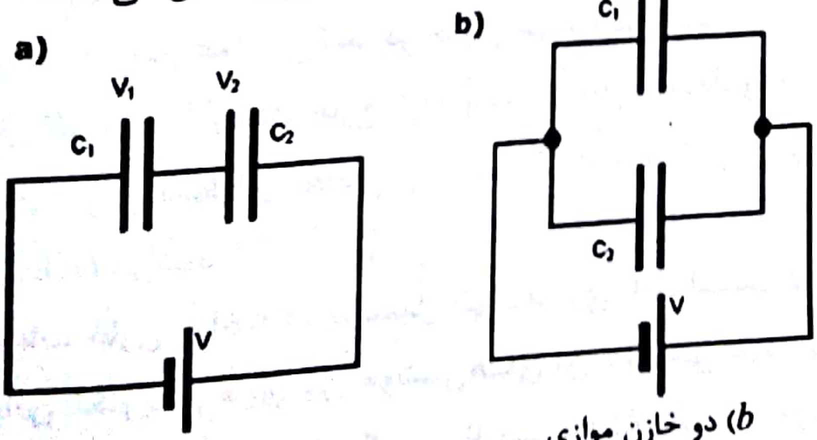
داده می‌شود، که در آن A مساحت جوشنها و d فاصله بین آنها است. خازنها به دو صورت سری یا موازی بهم بسته می‌شوند. در حالت سری ظرفیت معادل از رابطه

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + ... + \frac{1}{C_n} \qquad (2)$$

و در حالت موازی ظرفیت معادل از رابطه

$$C = C_1 + C_2 + ... + C_n \qquad (3)$$

بدست می‌آید. شکل(۱) خازنها را در حالت سری یا موازی نشان می دهد



a) دو خازن سری

b) دو خازن موازی

شکل(۱)

با توجه به شکل(۱)، دو خازن در صورتی موازی هستند که اختلاف پتانسیل دو سر آنها همواره برابر باشد. دو خازن که بار روی جوشن‌هایشان همواره مساوی باشد نیز سری هستند.

الف) بررسی شارژ و دشارژ خازن (پر کردن و خالی کردن خازن)

هرگاه جوشنهای خازنی را به دو قطب یک منبع تغذیه DC وصل کنیم، خازن شارژ می‌شود. در این صورت ولتاژ آن پس از مدتی که بستگی به مقاومت مدار و ظرفیت خازن دارد، برابر ولتاژ دو سر منبع تغذیه می‌شود. هنگام شارژ خازن در مدار شکل(۲) قانون کیرشهف را می‌توان به شکل زیر نوشت:

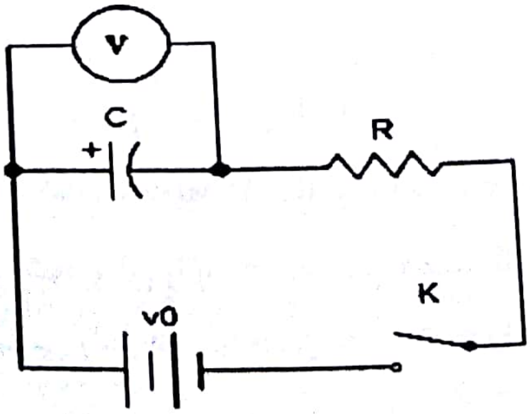
$$V_C + V_R = V_0 \qquad (۴)$$

که در آن V_C ولتاژ دو سر خازن و V_R ولتاژ دو سر مقاومت و V_0 ولتاژ دو سر باطری است. اما می‌دانیم $V_C = \frac{q}{C}$، که C ظرفیت خازن و q بار آن است. پتانسیل مقاومت، $V_R = RI$ می باشد. پس می توان نوشت:

$$\frac{q}{C} + RI = V_0 \qquad (۵)$$

همچنین، جریان مدار $I = \frac{dq}{dt}$ است. با توجه به این مطالب می‌توان نتیجه گرفت که:

$$\frac{q}{C} + R\frac{dq}{dt} - V_0 = 0 \qquad (۶)$$



شکل (۲)

معادله فوق به سادگی حل می شود. متغیرهای دیفرانسیل را به صورت زیر، می توان جدا نمود:

$$R\frac{dq}{dt} = V_0 - \frac{q}{C} \qquad (۷)$$

درنتیجه :

$$\frac{dq}{CV_0 - q} = \frac{1}{RC}dt \qquad (۸)$$

با انتخاب متغیر جدید $CV_0 - q = u$ داریم:

$$\frac{du}{u} = -\frac{1}{RC}dt \qquad (۹)$$

با انتگرال گیری از معادله فوق:

$$\ln(CV_0 - q) = -\frac{t}{RC} + B \qquad (۱۰)$$

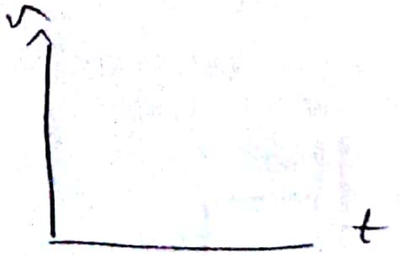
که در آن B یک ثابت است که از انتگرال گیری نامعین حاصل می شود. با استفاده از رابطه اخیر:

$$q = CV_0 - Ae^{\frac{-t}{RC}} \qquad (۱۱)$$

که $A = e^B$ می باشد و در هر صورت ثابتی است که باید با توجه به شرایط مرزی معین گردد. در $t=0$ بار خازن و در نتیجه ولتاژ آن صفر است. لذا به ازای $t=0$ باید داشته باشیم، $V=0$. این در صورتی امکان دارد که $A = CV_0$ باشد. در نتیجه:

$$q = CV_0(1 - e^{\frac{-t}{RC}}) \qquad (۱۲)$$

و یا:

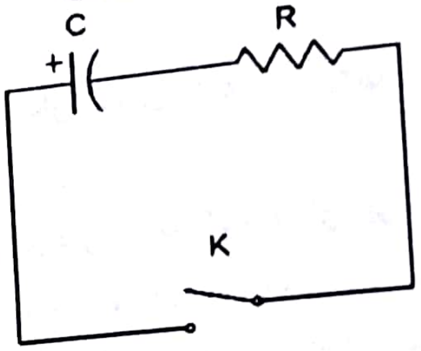


$$V = V_0(1 - e^{\frac{-t}{RC}}) \qquad (۱۳)$$

ثابت زمانی: حاصلضرب RC که در معادله(۱۳) ظاهر شده دارای بعد زمان است و به آن ثابت زمانی خازن گفته می شود و آن را با τ نشان می دهند. ثابت زمانی مدت زمانی است که بار خازن یا به عبارتی ولتاژ دو سر خازن به $(1 - e^{-1})$ ، یا تقریباً ۰/۶۳ مقدار حالت تعادلش برسد.

حال اگر پس از شارژ شدن کامل خازن، منبع تغذیه را از مدار خارج کنیم و مطابق شکل(۳) به جای آن کلیدی (در حالت اتصال کوتاه) قرار دهیم، قانون کیرشهف برای آن به این صورت خواهد بود:

$$V_C + V_R = 0 \qquad (14)$$



شکل (۳)

با قرار دادن رابطه ولتاژ مقاومت و خازن داریم:

$$\frac{q}{C} + R\frac{dq}{dt} = 0 \qquad (15)$$

با جداسازی متغیرها:

$$\frac{dq}{q} = -\frac{1}{RC}dt \qquad (16)$$

در نتیجه:

$$q = Ae^{\frac{-t}{RC}} \qquad (17)$$

که در آن A ثابتی است که با توجه به شرایط اولیه به دست می آید. در $t=0$ بار خازن q_0 است. در نتیجه:

$$V = V_0 e^{-\frac{t}{RC}} \quad , \quad V_0 = \frac{q_0}{C} \qquad (18)$$

که در آن q_0 بار اولیه خازن است. ثابت زمانی خازن، RC، در این مورد نیز مانند شارژ خازن وجود دارد در زمان $t=RC$ ، بار خازن (ولتاژ دو سر خازن) به $\frac{1}{e}V_0$ کاهش می یابد که در حدود ۰/۳۷ ولتاژ اولیه است.

با توجه به روابط (۱۳) و (۱۸) چگونگی شارژ و دشارژ خازن را می توان بررسی نمود. با اندازه گیری لحظه ای ولتاژ خازن در حال شارژ (یا دشارژ) می توان ظرفیت خازن را نیز محاسبه کرد. آزمایشهای زیر به این منظور طراحی شده اند.

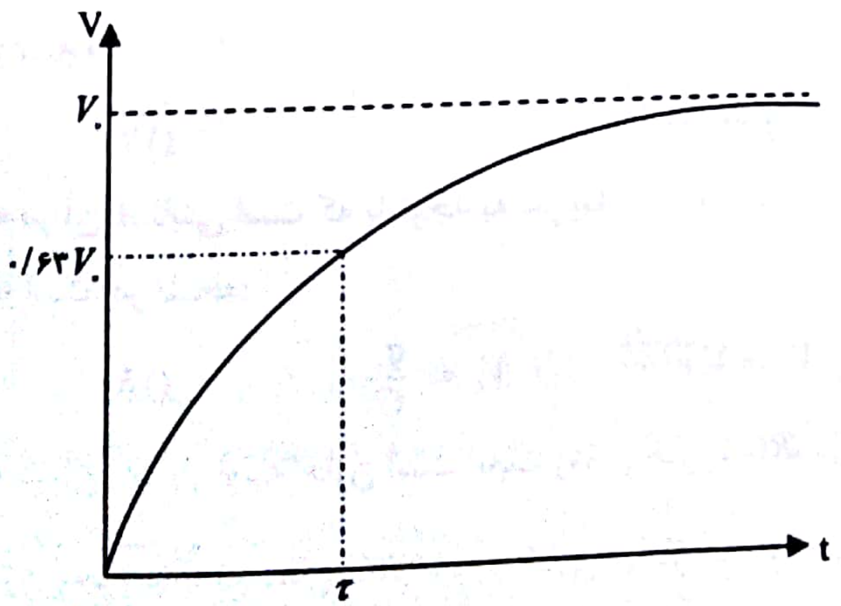
روش انجام آزمایش

الف) شارژ و دشارژ خازن، اندازه گیری τ و C از روی نمودار

✓ **شارژ خازن**

۱- ابتدا خازن ۱۰۰۰ میکروفاراد را تخلیه کنید (برای این کار کافی است که دو سر خازن را با یک سیم برای مدت کوتاهی بهم وصل کنید). مدار آزمایش را مطابق شکل(۲) ببندید. مقاومت مدار را ۴۷ کیلواهم انتخاب نمائید. ولتاژ منبع تغذیه DC را روی $10V$ (V_0) تنظیم کنید و دقت کنید که قطبهای خازن صحیح بسته شده باشند. همزمان با بستن کلید K کرونومتر را بکار اندازید. ولتاژ دو سر خازن را هر ۵ ثانیه خوانده و در جدول(۲) یادداشت کنید. این کار را ادامه دهید تا ولتاژ دو سر خازن به حدود V ۹/۷ برسد.

۲- با رسم نمودار V دو سر خازن بر حسب زمان نمودار شارژ خازن را رسم کنید.



$\tau = RC \rightarrow C = \frac{\tau}{R} \Rightarrow \frac{\Delta C}{C} = \frac{\Delta R}{R} + \frac{\Delta \tau}{\tau}$

۳- حال $۰/۶۳V_۰$ (که در اینجا برابر ۶/۳ ولت می باشد) را روی محور اختلاف پتانسیل مشخص کرده و با رسم خطی موازی محور t، زمان لازم برای رسیدن به $۰/۶۳V_۰$ را مشخص کنید که این زمان، همان ثابت زمانی τ خواهد بود.

۴- با محاسبه τ از روی نمودار و داشتن R مقدار C را از رابطه $\tau = RC$ به دست آورید و با مقدار نوشته شده روی بدنه خازن C' مقایسه کنید.

۵- درصد خطای نسبی اندازه گیری ظرفیت خازن طبق رابطه $\frac{\Delta C}{C} = \frac{|C - C'|}{C} \times ۱۰۰$ به دست آورید.

۶- آزمایش فوق را برای خازن ۴۷۰ میکروفاراد نیز انجام دهید. نتایج را در جدول(۲) بنویسید.

✓ دشارژ خازن

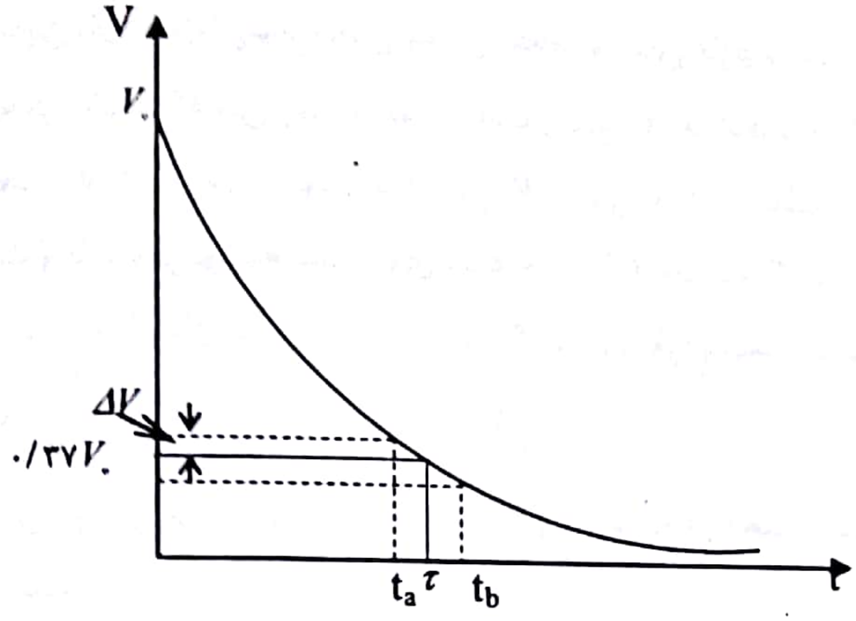
۱- خازن ۴۷۰ میکروفاراد را شارژ کنید (برای این کار کافیست دو سر آن را برای مدت کوتاهی به دو سر منبع تغذیه که ولتاژ آن روی $۱۰V$ تنظیم شده وصل کنید) و آن را در مدار دشارژ (شکل ۳) قرار دهید. همزمان با بستن کلید K کرونومتر را بکار اندازید. ولتاژ دو سر خازن را هر ۵ ثانیه خوانده و در جدول(۳) یادداشت کنید.

(این کار را تا ولتاژ $V_C = ۰/۳V_۰$ ادامه دهید)

۲- با رسم نمودار V دو سر خازن بر حسب زمان نمودار دشارژ خازن را رسم کنید.

۳- حال $۰/۳۷V_۰$ (در اینجا ۳/۷ ولت) را روی محور اختلاف پتانسیل مشخص کرده و با رسم خطی موازی محور t، زمان لازم برای رسیدن به $۰/۳۷V_۰$ را مشخص کنید که این زمان، همان ثابت زمانی τ خواهد بود.

۴- با محاسبه τ از روی نمودار و داشتن R مقدار C را از رابطه $\tau = RC$ به دست آورید و با مقدار نوشته شده روی بدنه خازن C' مقایسه کنید.

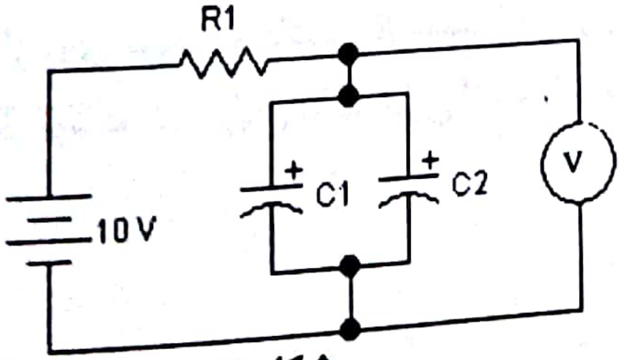


برای محاسبه خطای τ از روی نمودار از عدد $0/37V_0$ به اندازه خطای ماکزیمم ولتمتر (بیشترین دقت آن) بالا و پایین آن را علامت زده و t_a و t_b را به دست آورید.(همانند نمودار مقابل)، که خطای τ برابر است با:

$$\Delta\tau = \max\{|\tau - t_a|, |\tau - t_b|\}$$

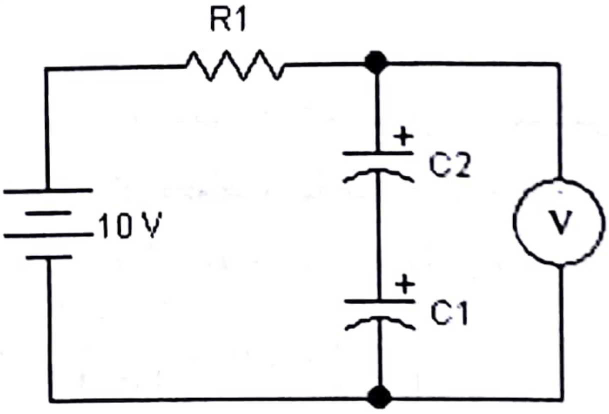
ب) به هم بستن خازنها بصورت موازی و سری

۱- دو خازن $C_1 = 1000\,\mu F$ و $C_2 = 470\,\mu F$ را مطابق شکل(۴) به صورت موازی ببندید و بجای خازن C در مدار شارژ قرار دهید و مراحل آزمایش(الف) را تکرار کنید. تغییرات ولتاژ با زمان را در جدول(۴) وارد کنید و نتایج این آزمایش را در جدول(۵) بنویسید.



شکل (۴)

۲- دو خازن $C_1 = 1000\mu F$ و $C_2 = 470\mu F$ را مطابق شکل(۵) به صورت سری ببندید و بجای خازن C در مدار شارژ قرار دهید و مراحل آزمایش (الف) را تکرار کنید. تغییرات ولتاژ با زمان را در جدول(۴) وارد کنید و نتایج این آزمایش را در جدول(۵) بنویسید.



شکل(۵)

ج) محاسبه خطا

در تجربه شارژ خازن V_0 ، V_C و t اندازه گیری می شوند. با توجه به (۱۳) داریم:

$$\frac{V_0 - V_C}{V_0} = e^{\frac{-t}{RC}} \qquad (19)$$

اگر از طرفین رابطه فوق لگاریتم بگیریم، داریم:

$$\ln\left(\frac{V_0 - V_C}{V_0}\right) = -\frac{t}{RC} \qquad (20)$$

با مشتق گیری نسبت به مقادیر اندازه گیری شده، یعنی V_0، V_C و t داریم:

$$\frac{dV_0 - dV_C}{V_0 - V_C} - \frac{dV_0}{V_0} = -\frac{t}{RC}\left(\frac{dt}{t} - \frac{dR}{R} - \frac{dC}{C}\right) \qquad (21)$$

با ساده کردن رابطه فوق و جدا کردن جمله $\frac{dC}{C}$ خطای ماکزیمم به صورت زیر است:

$$\left.\frac{dC}{C}\right|_{max} = \frac{\left(\frac{V_C}{V_0 - V_C}\right)}{\ln\left(\frac{V_0}{V_0 - V_C}\right)}\left(\frac{dV_0}{V_0} + \frac{dV_C}{V_C}\right) + \frac{dt}{t} - \frac{dR}{R} \qquad (22)$$

خطای آزمایش دشارژ خازن هم به همین صورت محاسبه می گردد. خطای نسبی در اندازه گیری ظرفیت خازن در حال دشارژ عبارت است از:

$$\left.\frac{dC}{C}\right|_{max} = \frac{1}{\ln(\frac{V_\circ}{V_C})}\left(\frac{dV_\circ}{V_\circ} + \frac{dV_C}{V_C}\right) + \frac{dt}{t} - \frac{dR}{R} \quad (۲۳)$$

برای روابطی که محاسبه خطا از روش فوق مشکل است، می توان از روش زیر استفاده نمود:

فرض کنید که کمیتی مانند f داریم که تابع متغیرهای مستقل x y و z است. یعنی : $f=f(x,y,z)$. در این صورت اگر بخواهیم با اندازه گیری متغیرهای مستقل x y و z مقدار f را محاسبه نمائیم، مقدار خطا مطلق از رابطه زیر به دست می آید:

$$\Delta f = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 (\Delta x)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2 (\Delta y)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial z}\right)^2 (\Delta z)^2} \quad (۲۴)$$

به کمک رابطه فوق مقدار خطا را در محاسبه ظرفیت خازن (C) از (۲۰) به دست آورید.

خطای نسبی در اندازه گیری های V و t را در جدولهای ۱ تا ۶ بنویسید. به کمک این مقادیر و با استفاده از (۲۶) خطای نسبی را برای هر اندازه گیری محاسبه نمائید. کدام قسمت از داده هائی که با اندازه گیری به دست آورده اید، دارای ارزش بیشتری است؟

توجه کنید که برای برآورد خطا، در هر تجربه، به ولتاژ اولیه (یا ولتاژ نهائی) خازن نیاز دارید.

۱- با استفاده از منحنی شارژ نمی توان نتایج دقیقی به دست آورد. روش دیگر اندازه گیری ظرفیت خازن از طریق شیب نمودار لگاریتمی می باشد. اگر از طرفین رابطه (۱۳) ln بگیریم داریم:

$$\ln(V_\circ - V_C) = \ln V_\circ - \frac{t}{RC} \quad (۲۵)$$

به عبارت دیگر اگر نمودار $\ln(V_\circ - V_C)$ را برحسب زمان رسم کنیم منحنی حاصل خط راستی خواهد بود که ضریب زاویه آن $\frac{1}{RC}$ است که با داشتن مقاومت R ظرفیت خازن

به دست آورید و نتایج حاصل را با مقادیری که روی خازنها نوشته شده است، مقایسه کنید.

۲- در آزمایش دشارژ خازن، چرا وقتی کلید K وصل نکرده ایم خازن شروع به دشارژ شدن می کند؟(به مقدار خیلی کم)

۳- خطای نسبی را برای حالت سری و موازی خازنها محاسبه کنید و مشخص کنید دقت کدام حالت بیشتر است؟

جدولهای آزمایش شماره ۴

مطالعه رفتار خازنها در مدار DC

t																	
V_c																	
$\frac{\Delta t}{t}$																	
$\frac{\Delta V_c}{V_c}$																	
$\frac{\Delta C}{C}$																	

جدول(۲ و ۳): شارژ و دشارژ خازن

	t																
موازی	V_c																
سری	V_c																

جدول(۴)

خازن	C_1	C_2	معادل C	R	τ	$C=\frac{\tau}{R}$	درصد خطا
سری							
موازی							

جدول(۵): بهم بستن خازن ها به صورت سری و موازی

آزمایش شماره ۵

نوسان‌نمای کاتدی (اسیلوسکوپ)

هدف: آشنایی با طرز کار اسیلوسکوپ، اندازه‌گیری فرکانس یک موج، اندازه‌گیری ولتاژ *P-P* و *rms* و رسم منحنی‌های لیساژو.

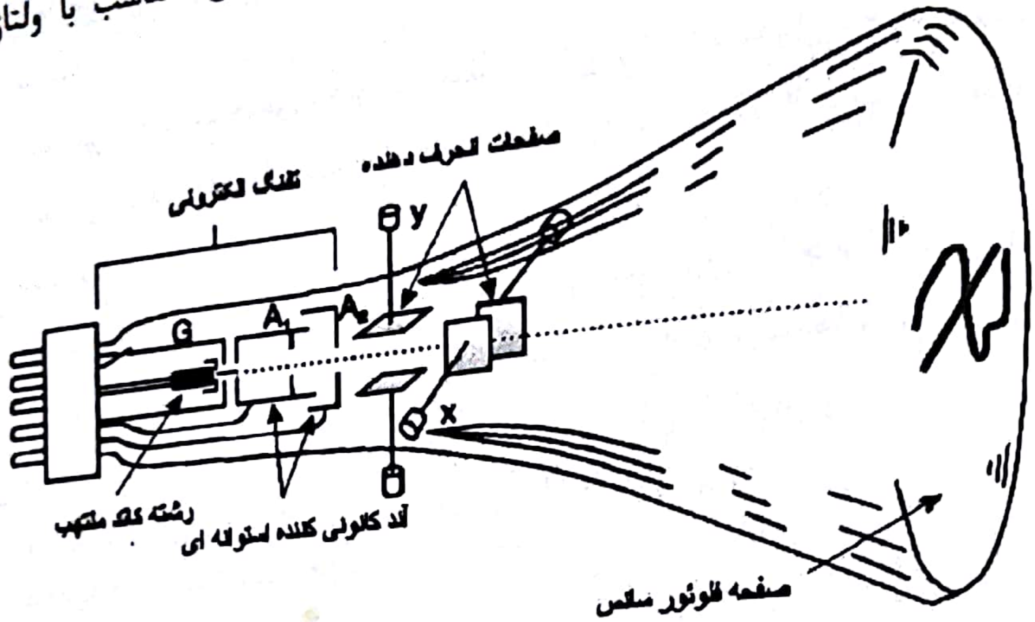
وسایل آزمایش: اسیلوسکوپ، ترانسفورماتور، نوسان ساز(اسیلاتور)، سیمهای رابط.

مبانی نظری

آشنایی با لامپ پرتو کاتدی

شکل (۱) تصویری از لامپ پرتو کاتدی را نشان می‌دهد. از این لامپ‌ها در ساختن نوسان‌نما و لامپ تصویر تلویزیون و صفحه نمایش کامپیوتر استفاده می‌شود. درون لوله تا فشار حدود ۱۰ میلی‌متر جیوه ازهوا تخلیه شده است. اگر فشار بیش از این باشد، برخورد الکترونها با مولکولهای هوا و در نتیجه پراکندگی پرتو الکترونی زیاد می‌شود. *کاتد*، که در سمت چپ تصویر است، به کمک گرم‌کننده‌ای تا دمای نسبتاً بالائی گرم می‌شود و در اثر انرژی گرمائی، الکترونها از سطح کاتد پرتاب می‌شوند. *آنود شتاب‌دهنده*، که سوراخی در مرکز آن است، نسبت به کاتد، پتانسیل بالایی دارد. به این ترتیب بین آند شتاب‌دهنده و کاتد، میدان الکتریکی افقی از راست به چپ وجود دارد، الکترون به محض خروج از سوراخ وسط آند با سرعت ثابت به طرف *صفحه فلوئورسان* پیش می‌رود و با صفحه فلوئورسان برخورد می کند و محل برخورد الکترونها با سطح صفحه فلوئورسان شدیداً درخشان می‌شود. درست پس از کاتد، *شبکه کنترل* قرار دارد. وظیفه این شبکه تنظیم تعداد الکترونهایی است که به آند می‌رسند. با تغییر تعداد الکترونها میزان شدت روشنایی صفحه فلوئورسان تنظیم می شود. مجموعه شبکه کنترل، آند تمرکز دهنده و آند شتاب‌دهنده را *تفنگ الکترونی* می‌نامند. الکترون از میان دو جفت صفحه منحرف کننده نیز عبور می‌کند. میدان الکتریکی بین جفت صفحه اول الکترون را در امتداد افقی، و میدان بین جفت صفحه دوم آن را در امتداد قائم منحرف

می‌کند. لذا مختصات نقطه روشن بر روی صفحه فلوئورسان متناسب با ولتاژهای منحرف کننده است.



شکل۱

هر گاه بین دو جفت صفحه انحراف‌دهنده، میدانی وجود نداشته باشد، الکترون‌ها از آند شتاب‌دهنده روی مسیر مستقیمی به طرف صفحه فلوئورسان حرکت کرده، در نقطه ثابتی به صفحه برخورد می‌کنند و محل برخورد به نقطه درخشانی تبدیل می شود. محل برخورد الکترونها به صفحه فلوئورسان، با اعمال پتانسیل الکتریکی به صفحات انحراف دهنده کنترل می شود. با اعمال پتانسیل به صفحات انحراف دهنده، می توان اشکال مختلفی را -که تابع پتانسیل اعمال شده هستند- به وجود آورد.

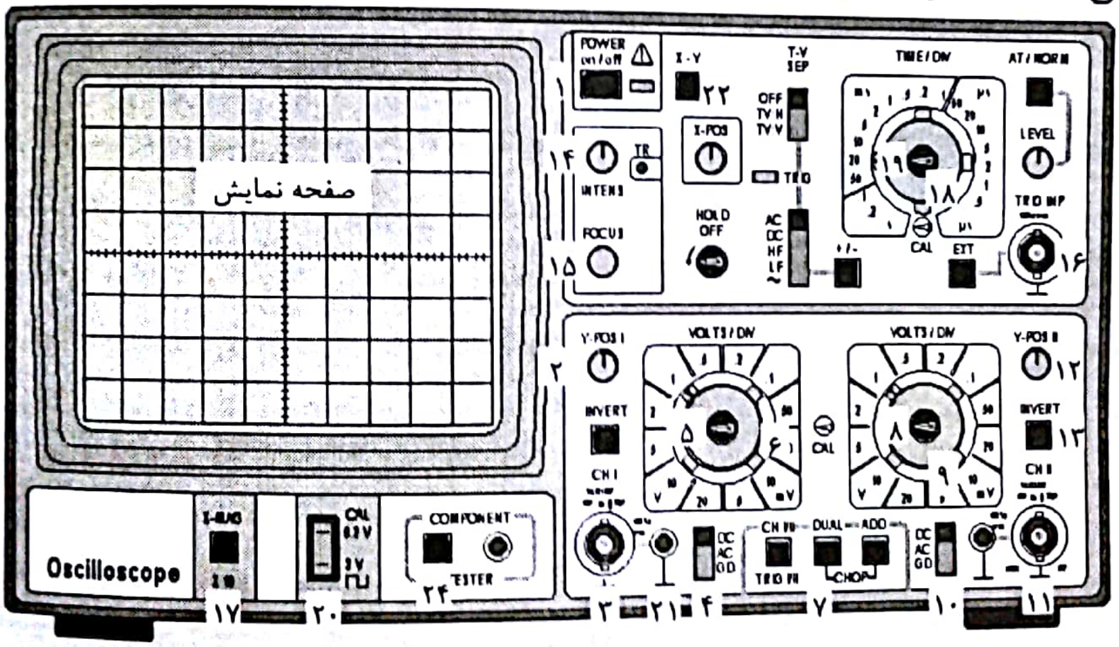
اسیلوسکوپ چیست؟ چه کارهایی با آن می‌توان انجام داد و چگونه کار می‌کند؟

اسیلوسکوپ به طور اساسی یک وسیله نمایش و رسم هندسی سیگنال الکتریکی است که نشان می دهد چگونه یک سیگنال با زمان تغییر می کند که محور عمودی (Y) **ولتاژ** و محور افقی(X) **زمان** را نشان می دهد این نمایش ساده می تواند خیلی چیزها را در مورد سیگنال به شما بگوید!

- شما می توانید ولتاژ و زمان سیگنال را تشخیص دهید.
- شما می توانید فرکانس سیگنال اسیلوسکوپ را حساب کنید.

- شما می توانید حرکت قسمتهای مدار را که به وسیله سیگنال فراهم شده است را ببینید.
- شما می توانید تشخیص دهید که عملکرد یکی از اجزا سیگنال صحیح نیست.
- شما می توانید بفهمید چه تعداد از سیگنالها مستقیم(DC) یا متناوب(AC) هستند.

شکل(۲) تصویری از یک اسیلوسکوپ را مشاهده می‌کنید. قبل از انجام آزمایش، بایستی با طرز کار نوسان نمای کاتدی (اسیلوسکوپ) آشنا شوید. ابتدا دکمه‌ها و پیچ‌های صفحه جلوی دستگاه (شکل ۲) را به دقت شناسایی کنید و عملی را که هر یک از آنها انجام می‌دهند، بخاطر بسپارید. هرگز بدون هدف آنها را بکار نگیرید.



شکل(۲)

اجزای صفحه جلوی دستگاه

۱) کلید (روشن/خاموش)

۲) تغییر مکان ⬍ برای بالا و پایین بردن موج کانال ۱ مورد استفاده قرار می‌گیرد. وقتی کلید «زمان بر قسمت» (۱۸) مقابل نشانه X-Y باشد این کلید برای بالا و پائین بردن موج عمودی بکار می رود. در هر دو صورت تنظیم موقعیت عمودی موج کانال ۱ با این کلید انجام می شود.

۳) <u>ورودی</u>: محل اتصال علامت ورودی کانال ۱ (یا ورودی افقی در حالت نمایش X-Y).

۴) <u>AC/ ⊥ /DC</u> : اهرم سه وضعیتی، برای کنترل علامت ورودی کانال ۱:

AC : راه را بر مؤلفه DC علامت ورودی می‌بندد.

⊥ : مسیر سیگنال را باز کرده ورودی تقویت کننده عمودی را به زمین وصل می‌نماید. به این ترتیب خط صفری بدست می‌آید که از آن می‌توان به منزله مبنا در اندازه‌گیریهای DC استفاده کرد.

DC: هر دو مؤلفه AC و DC علامت ورودی را عبور می‌دهد.

۵) <u>ولت بر قسمت</u>(Volt/Div): بهره تقویت کننده کانال ۱ و در نتیجه تنظیم حساسیت عمودی را امکان‌پذیر می‌سازد. وقتی پیچ «تنظیم دقیق» در وضعیت «کالیبره» قرار گیرد، بهره عمودی را در ۱۲ محدوده کالیبره، از ۵ میلی‌ولت تا ۲۰ ولت بر قسمت می‌توان تغییر داد.

۶) <u>تنظیم دقیق</u>: برای تنظیم دقیق تقویت کننده عمودی است . وقتی تا منتهی الیه ساعتگرد پیچانده شود، تقویت کننده عمودی کالیبره می‌شود. در حالت X-Y آن را برای تنظیم دقیق بهره افقی بکار می‌گیرند.به این ترتیب که اسیلوسکوپ یک سیگنال مرجع با دامنه و فرکانس معین برای تنظیم خود ایجاد می کند. اگر سیگنال مزبور به ورودی عمودی اسیلوسکوپ داده شود، می‌توان شکل آن را مشاهده نمود. در عین حال چون دامنه و فرکانس سیگنال مزبور معین است، می‌توان صحت تنظیمات سلکتورهای تنظیم دقیق Time/Div و Volt/Div را تحقیق کرد. اگر مقادیر خوانده شده صحیح نبودند، نشان می دهد اسیلوسکوپ از تنظیمات خارج شده است. برای تنظیم کردن سلکتورهای مزبور باید دکمه های قرمز رنگ که معمولاً با علامت CAL یا Variable مشخص می شوند را تغییر داد و پس از تنظیم شدن دیگر به آنها نباید دست بزنیم.

۷) <u>نوع نمایش</u>: انواع نمایش روی صفحه نوسان نما را به ترتیب زیر کنترل می‌کند:

CH1: فقط علامت وارد به کانال ۱ را نشان می‌دهد.

CH2: فقط علامت وارد به کانال ۲ را نشان می‌دهد.

DUAL: عملکرد دو کاناله، کـه علامـت‌هـای دو کانـال متناوباً نمـایش داده می‌شود. (پایانه زمانی بین ۰/۵ ثانیه و یک میلی‌ثانیه توصیه می‌شود.)

CHOP: عملکرد دو کاناله، که نمایش روی صفحه نوسان نما با فرکانسی در حدود ۲۰۰ کیلوهرتز بین علائم دو کانال نوسان می‌کند. (پایـه زمـانی بـین ۰/۵ ثانیه و ۱ میلی‌ثانیه توصیه می‌شود.)

ADD: نمایش روی صفحه نوسان نما حاصل جمع موج‌های دو کانال است.

۸) ولت بر قسمت(Volt/Div). تغییر بهره تقویت کننده کانال۲ و در نتیجه تنظیم حساسیت عمودی را امکان پذیر می‌سازد. وقتی پیچ «تنظیم دقیـق» در وضـعیت «کالیبره» قرار گیرد، بهره عمودی را در ۱۲ محدوده کـالیبره، از ۵ میلـی‌ولـت تـا ۲۰ ولت بر قسمت می‌توان تغییر داد.

۹) تنظیم دقیق: کلید تنظیم دقیق تقویت کننده عمودی کانـال ۲ اسـت. وقتـی تـا منتهی‌الیه ساعتگرد پیچانده شود، تقویـت کننـده عمـودی کـالیبره مـی‌شـود. در حالت X-Y آن را برای تنظیم دقیق بهره عمودی بکار می‌گیرند.

۱۰) DC/ ⊥ /AC اهرم سه وضعیتی، برای کنترل علامت ورودی کانال۲:

AC: راه را برای مؤلفه DC علامت ورودی می‌بندد.

⊥ : مسیر سیگنال را بـاز کـرده ورودی تقویـت کننـده عمـودی را بـه زمـین وصـل می‌نماید. به این ترتیب خط صفری بدست می‌آید که از آن می‌توان به منزلـه مبنـا در اندازه‌گیریهای DC استفاده کرد.

DC: هر دو مؤلفه AC و DC علامت ورودی را عبور می‌دهد.

۱۱) ورودی: محل اتصال علامت ورودی کانال ۲ (یا ورودی عمودی در حالـت نمـایش X-Y).

۱۲) تغییر مکان ⬍/⬌ برای بالا و پایین بردن موج کانال ۲ به کار می رود.

۱۳) وقتی این پیچ داخل باشد، موج وارده به کانال ۲ معکوس می‌شود.

۱۴) شدت نور: میزان روشنایی تصویر را برای سهولت مشاهدات تنظیم می‌کند. وقتی کاملاً به سمت چپ پیچیده شود شدت صفر گردیـده و در نتیجـه تـصویر ناپدیـد می‌شود.

۱۵) *تنظیم کانونی*: برای دستیابی به واضحترین تصویر نسبت به میزان روشنایی است.

۱۶) *راه اندازی خارجی*: محل اتصال ولتاژ راه اندازه خارجی است. پیش از وصل ولتاژ راه انداز، ابتدا باید اهرم «منبع» را در وضعیت «خارجی» قرار داد.

۱۷) *داخل ده برابر*: چنانچه این کلید به داخل باشد تصویر ده برابر بزرگ می‌شود.

۱۸) *زمان بر قسمت* (Time/Div): این کلید برای انتخاب پایه زمانی بکار می‌رود و وقتی پیچ تنظیم دقیق (۱۹)؛ در منتهی‌الیه ساعتگرد باشد با این کلید می‌توان در ۱۹ مرحله هر یک از پایه‌های کالیبره زمانی از ۰/۵ میکروثانیه تا ۰/۵ ثانیه بر قسمت را انتخاب کرد.

۱۹) *تنظیم دقیق*: برای تنظیم دقیق پایه زمانی تعبیه شده است. وقتی تا منتهی‌الیه ساعتگرد پیچانده شود، پایه زمانی کالیبره می‌شود.

۲۰) *موج کالیبره*: (با فرکانس یک کیلوهرتز و دامنه یک دهم ولت قله به قله) این موج برای کالیبره کردن بهره تقویت کننده تقویت عمودی و تنظیم گمانه‌های مورد استفاده با نوسان نما بکار می‌رود.

۲۱) *اتصال زمین دستگاه.*

۲۲) *حالت*(Mode X-Y) وقتی کلید در مقابل نشانه X-Y قرار گیرد، سیستم داخلی پایه زمانی از کار می‌افتد تا سیگناال ورودی کانال مربوطه، انحراف افقی را کنترل کند. در این حالت، سیگنال کانال ۱ انحراف افقی (محور X) و سیگنال کانال ۲ انحراف عمودی (محور Y) را ایجاد می‌کند.

احتیاطهای ضروری:

۱) ولتاژهای ورودی دستگاه نباید از حداکثر مجاز خود تجاوز کنند. حداکثر ولتاژ ورودی برای تقویت کننده عمودی ۳۰۰ ولت (مستقیم + اوج متناوب) وبرای راه انداز خارجی ۵۰ ولت (مستقیم + اوج متناوب) بوده و برای محور z نیز ۵۰ ولت (مستقیم+ اوج متناوب) است.

۲) هنگام نمایش X-Y ، پیچ کنترل «داخل ده برابر» باید در وضعیت فرو رفته قرار گیرد و گرنه ممکن است نمایش شکل موج با پارازیت همراه می‌شود.

راهنمای قدم به قدم استفاده از اسیلوسکوپ

- *قدم اول: روشن کردن اسکوپ!*
- *قدم دوم: اطمینان از کالیبره بودن اسکوپ*

کلید های *Gain Variable Control* را که به صورت کلیدی کوچکتر بر روی کلیدهای *Volt/Div* و *Time/Div* وجود دارد تا انتها در جهت عقربه های ساعت بچرخانید.

- *قدم سوم: تنظیم زمین اسکوپ*

کلید سه حالته *DC/ GND/AC* را برای هر دو کانال در حالت *GND* قرار بدهید و با کلید *Position* محور عمودی را روی صفر قرار بدهید. بوسیله کلیدهای *Intensity* و *Focus* به ترتیب شدت نور و نازکی موج را تنظیم کنید و بعد از تنظیم زمین کلیدها را در وضعیت *DC* قرار بدهید.

- *قدم چهارم: وصل مدار به اسکوپ*

اگر از یک کانال استفاده می‌کنید با یک پروب و اگر از دو کانال استفاده می‌کنید با دو پروب باید مدار را به اسیلوسکوپ وصل کنید. به این صورت که سوکت پروب را به ورودی کانال مورد نظر وصل کنید و سر دیگر آن را به دو سر المان یا قسمتی از مدار که می خواهید تغییرات ولتاژ آن را بررسی کنید، وصل کنید.

- *قدم پنجم: پایداری موج*

اگر موجی که روی صفحه نشان داده می‌شود یا سریع حرکت می‌کند، کلید *Trigger Level* را در حالت وسط قرار دهید و کمی *Time/Div* را هم تغییر دهید تا شکل موج واضح‌تر بشود و اگر موج شما ثابت بود به قدم بعد بروید.

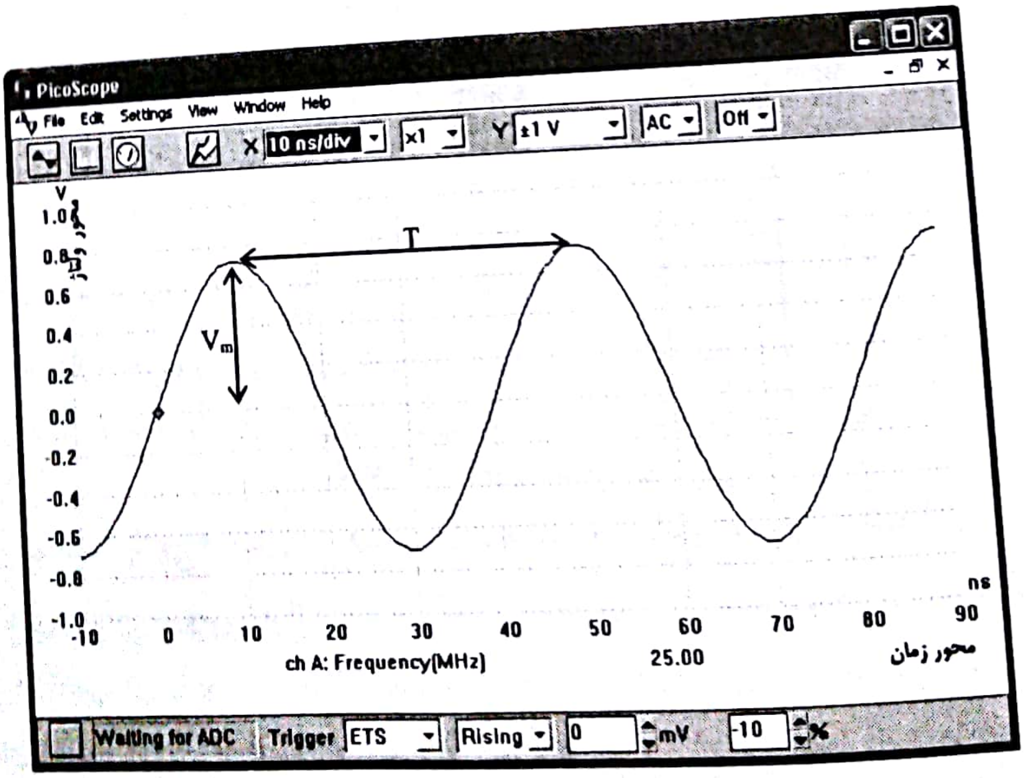
- *قدم ششم: انتخاب منبع*

کانال مورد نظر را برای نمایش روی صفحه بوسیله کلید چند حالته ***Vertical Mode*** انتخاب کنید. اگر هر دو کانال را هم زمان می‌خواهید ببینید یکی از حالتهای ***ALT*** یا *CHOP* را انتخاب کنید و اگر مجموع دو موج مورد نظرتان هست وضعیت ***ADD*** را انتخاب کنید.

- قدم هفتم: *اندازه گیری مشخصات موج*

تعداد خانه های افقی را که در امتداد یک دوره تناوب قرار گرفته اند در واحد *Time/Div* ضرب کنید و عدد به دست آمده را معکوس کنید تا فرکانس موج بدست بیاید. برای بدست آوردن دامنه سیگنال، تعداد خانه های عمودی را از قله تا پایین ترین نقطه موج بشمارید و در *Volt/Div* آن کانال ضرب کنید. عدد به دست آمده اندازه دامنه *p-p* موج خواهد بود.

یکی از تفاوتهای اسیلوسکوپ و ولت‌متر در این است که اسیلوسکوپ قادر است بستگی ولتاژ به زمان را به نمایش بگذارد در صورتی که ولت‌متر متناوب فقط مقدار مؤثر ولتاژ V_{eff} که معمولاً با V_{rms} نیز نوشته می شود را اندازه‌گیری می کند. برای مثال اگر ولتاژ سینوسی باشد یعنی $V = V_m \sin(\omega t)$ آنگاه V_{rms} چنین خواهد بود $V_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$. اگر به اسیلوسکوپ ولتاژ سینوسی اعمال کنیم موج شبیه به شکل(۳) به دست خواهد آمد. در این شکل $V_{pp} = 2V_m$ ولتاژ نوک به نوک (پیک تو پیک) خوانده می شود.



شکل (۳)

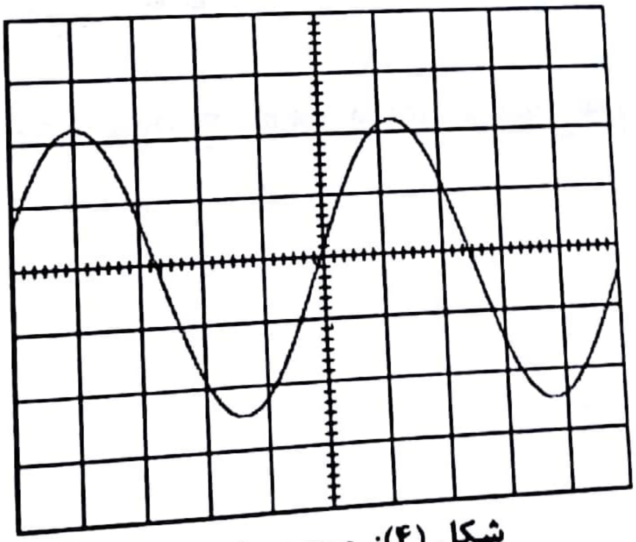
روش انجام آزمایش

۱) قبل از کار با دستگاه، روش کار با آنرا به دقت مطالعه کنید و دکمه‌ها و پیچهای کنترل روی آن‌را به صورتی که در بالا مشخص شد میزان کنید.

۲) برای اندازه گیری فرکانس یک موج، ابتدا بایستی شکل موج را بر روی صفحه اسیلوسکوپ تشکیل دهید.

الف) اندازه گیری فرکانس (بسامد):

دو سر ترانس کاهنده را به ورودی کانال ۱ وصل کنید. چون قبلاً پیچ «زمان بر قسمت» را بر روی ۱ms قرار داده‌اید، موج دندانه اره‌ای از داخل به صفحات عمودی(انحراف دهنده افقی)وصل شده است. (در شکل ۱ ساختمان داخلی اسیلوسکوپ و صفحات انحراف دهنده افقی و قائم بطور ساده رسم شده‌اند). لذا موج سینوسی برق شهر (ترانس کاهنده) با موج دندانه اره‌ای ترکیب شده و شکل موج سینوسی (معادله مسیر) برق شهر بر روی صفحه اسیلوسکوپ تشکیل می‌گردد.



شکل (۴): موج سینوسی

این کار توسط پیچ «زمان بر قسمت» (تغییر فرکانس موج دندانه اره‌ای) و پیچ «راه‌اندازی سطح بیرونی کار» انجام می‌گردد. ابتدا دوره تناوب موج را اندازه گرفته و سپس فرکانس آن را بدست می‌آوریم. دوره تناوب به صورت زیر بدست می آید:

T= تعداد خانه‌های اسیلوسکوپ در یک طول موج × درجه‌ای که پیچ زمان بر قسمت نشان می‌دهد

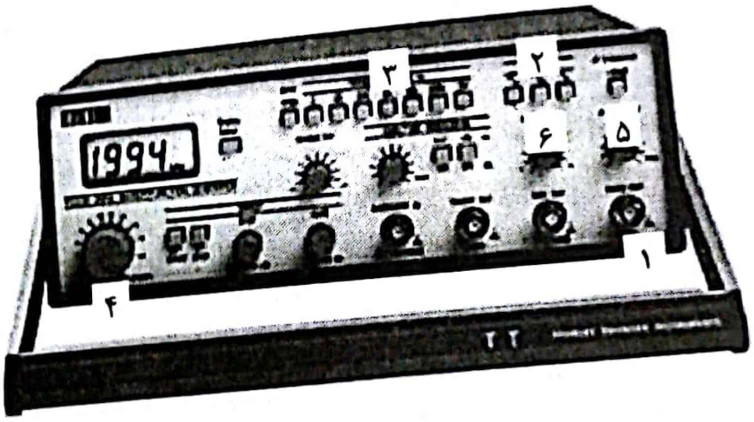
T = [(قسمت یا خانه)] × [زمان بر قسمت](ثانیه) = [زمان](ثانیه)

و در نتیجه فرکانس به دست می آید:

$\nu = \frac{1}{T}$ بسامد یا فرکانس

در صورتی که موج ورودی دارای بخش DC باشد، موج بالاتر از سطح صفر درجه بندی صفحه اسیلوسکوپ پدیدار می شود. در این صورت می توان با قرار دادن کلید۹(یا۳) روی AC سطح DC را حذف کرد. اگر سطح DC خیلی بزرگتر از دامنه AC باشد، بخش AC به خوبی دیده نمی شود.

پس از اندازه گیری فرکانس برق شهر، از دستگاهی به نام اسیلاتور(شکل ۵)استفاده کرده و فرکانس یک موج سینوسی دلخواه، مربعی و دندانه اره‌ای را نیز اندازه می‌گیریم.



شکل(۶)

کلیدهای اسیلاتور: کلیدهای کنترل اسیلاتور(موج ساز) روی شکل(۵) علامت گذاری شده است. اتصال۱ خروجی دستگاه است. موج ساخته شده از این طریق به مصرف کننده موج منتقل می گردد. مجموعه کلیدهای۲ شکل موج را به صورت سینوسی، مربعی و مثلثی ایجاد می کند. کلیدهای۳و۴ برای معین کردن فرکانس موج خروجی به کار می روند. کلید۵و۶ دامنه موج خروجی و مقدار DC ولتاژ را تنظیم می کنند.

حال مولد موج(اسیلاتور) را روشن کنید روی V_{pp}=۴V تنظیم کنید و برای شکل موج سینوسی، مربعی، مثلثی دوره تناوب موج و در نهایت فرکانس موج را به دست آورید و نتایج را در جدول(۱) یادداشت نمایید.

ب) اندازه گیری ولتاژ

فرکانس مولد موج را روی $1KHz$ تنظیم کنید و دامنه آن را با ولوم ولتاژ تغییر دهید و و سر خروجی آن را به کانال ۱ وصل کنید . V_{pp} و V_{eff} را اندازه گیری کنید و سپس دو سر خروجی مولد را به ولتمتر AC وصل کنید و ولتاژ مؤثر را با هم مقایسه کنید:

درجه‌ای که پیچ ولت بر قسمت نشان می‌دهد × تعداد خانه‌های اسیلوسکوپ از قله تا دره = V_{pp}

$$V_{eff} = \frac{V_{pp}}{2\sqrt{2}}$$ موج سینوسی

نتایج را برای دو موج مثلثی و مربعی نیز در جدول(۲) یادداشت نمایید.

جدولهای آزمایش شماره ۵

نوسان‌نمای کاتدی (اسیلوسکوپ)

$V = V_m \sin \omega t$

$V_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$

فرکانس مولد موج	$\nu = \frac{1}{T}$	T	تعداد خانه های افقی	زمان بر قسمت	شکل موج	آزمایش
					سینوسی	
					سینوسی	
					مثلثی	
					مربعی	

جدول۱

V_{eff} ولت متر	V_{eff}	V_{pp}	تعداد خانه های عمودی	ولت بر قسمت	شکل موج	آزمایش
					سینوسی	
					سینوسی	
					مثلثی	
					مربعی	

جدول۲

آزمایش شماره ۶

جریانهای متناوب در مدارهای R-C و R-L

هدف:

- بررسی جریانهای متناوب در مدارهای با جریان و ولتاژ متغیر با زمان
- تعیین امپدانس و اختلاف فاز جریان- ولتاژ
- بررسی اثر هسته سیم‌پیچ در ضریب خود القاء آن

وسایل آزمایش: ولت‌متر AC، آمپرمتر AC، مقاومت، خازن، سیم‌پیچ (سلف) با هسته، اسلاتور(نوسان ساز)، اسیلوسکوپ (نوسان نما)

مبانی نظری

جریانهای DC جریانهائی هستند که تنها در یک جهت در مدار جریان می یابند. جریانهای AC به طور متناوب در هر دو جهت در مدار برقرار می شوند. ولتاژهای وابسته به این جریان ها معمولا به صورت

$$V = V_m \sin(\omega t) \qquad (1)$$

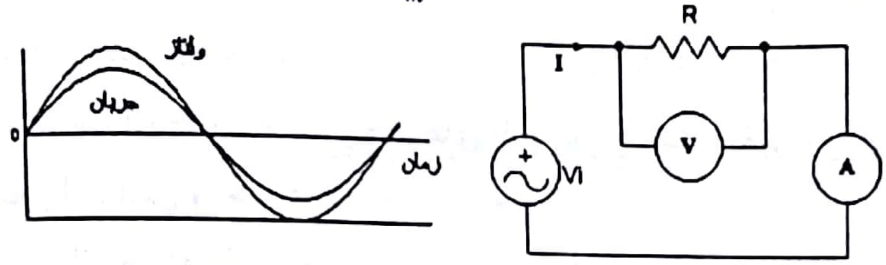
هستند. برای برق خانگی فرکانس ۵۰ (در بعضی کشورها۶۰) هرتز است. فرکانس زاویه‌ای به صورت $\omega = 2\pi f$ از فرکانس f به دست می آید. V_m ولتاژ ماکزیمم است. برای برق خانگی V_m حدود ۳۱۱ ولت می باشد. ولتاژ برق خانگی به ۲۲۰ ولت معروف است. ۲۲۰ ولت مقدار موثر ولتاژ برق است، که در واقع جذرمتوسط مجذور ولتاژ می باشد. برای ولتاژهای سینوسی به صورت (۱) داریم:

$$V_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \qquad (2)$$

که V_m ولتاژ ماکزیمم و V_{rms} ولتاژ مؤثر می باشد.

فرض کنید *جریان متناوب سینوسی* که ساده‌ترین نوع جریان متناوب است، در مدار شکل ۱- الف جاری باشد. یعنی جریان در مدار به صورت زیر نسبت به زمان تغییر کند:

$$I = I_m \sin \omega t \qquad (۳)$$



الف — شکل(۱) — ب

اگر قانون دوم کیرشهف را برای مدار فوق بنویسیم داریم:

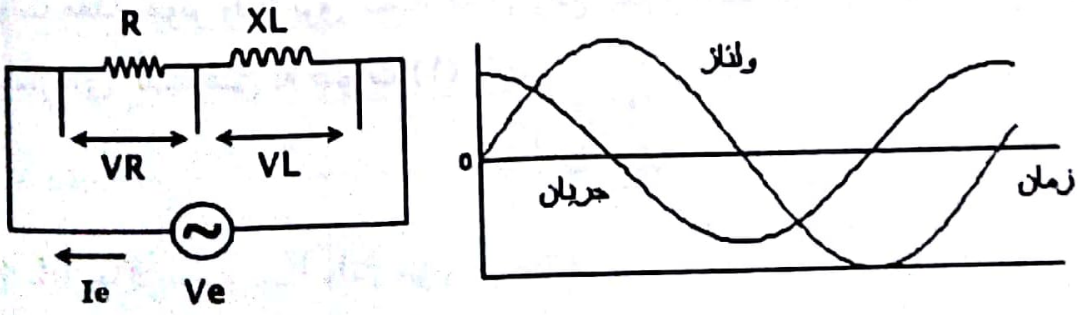
$$V_R = RI = RI_m \sin \omega t \qquad (۴)$$

مقایسه روابط (۳) و (۴) نشان می‌دهد که ولتاژ و جریان هم‌فاز هستند. لذا نمودار تغییرات جریان و ولتاژ به شکل ۱- ب خواهد بود.

اگر یک خودالقا به ولتاژ (۱) متصل گردد، جریان و ولتاژ در خودالقا دیگر هم فاز نیستند. فرض کنیم جریان الکتریکی مدار از رابطه (۵) پیروی می کند و از آنجا که برای ولتاژ دو سر القاگر رابطه $V_L = L\frac{di}{dt}$ برقرار است بدین ترتیب برای ولتاژ دوسر القاگر خواهیم داشت:

$$V_L = I_m L\omega \cos \omega t = I_m X_L \sin(\omega t + \frac{\pi}{۲}) \qquad (۵)$$

رابطه(۵) نشان می دهد که ولتاژ دوسر القاگر به اندازه ۹۰ درجه از جریان جلوتر است. (شکل ۲)



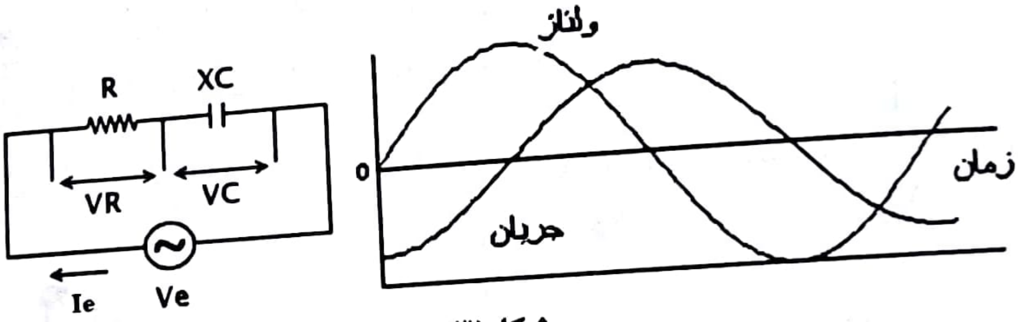
شکل (۲)

ازمقایسه (۵) با $V=Ri$ نتیجه می گیریم که، خودالقا در جریان های متناوب، مقاومتی به اندازه $Z = L\omega$ نشان می دهد. به این مقاومت ظاهری **امپدانس القائی** می گویند.

وضعیت مشابهی برای خازن وجود دارد. رابطه ولتاژ و جریان برای خازن به صورت $i = \frac{dq}{dt} = \frac{d(CV)}{dt} = C\frac{dV}{dt}$ است. اگر ولتاژ(۱) به خازن اعمال گردد، آنگاه جریان در خازن به صورت:

$$i = C\omega V_m \cos(\omega t) = C\omega V_m \sin(\omega t + \frac{\pi}{۲}) \qquad (۶)$$

خواهد بود. یعنی جریان به اندازه ۹۰ درجه نسبت به ولتاژ جلوتر است. شکل(۳) این مطلب را نشان میدهد.



شکل(۳)

از مقایسه مجدد (۶) با $V=Ri$ متوجه می شویم که خازن در جریان های متناوب مقاومت ظاهری $Z = \frac{۱}{C\omega}$ از خود نشان می‌دهد. به این مقاومت ظاهری **امپدانس خازنی** می گویند.

در مدارهائی که شامل ترکیبی از مقاومت، خودالقا و خازن است، می توان از تمام روابط مدارهای DC مثل قوانین کیرشهف و ... استفاده نمود. تنها باید توجه داشت که به علت وجود اختلاف فاز بین ولتاژ عناصر مدار، جمع ولتاژها (همچنین جمع مقاومتهای ظاهری) جمع اسکالر نیست. بلکه جمع این مقادیر باید به صورت برداری انجام گردد. اگر یک صفحه دو بعدی x-y را درنظر بگیریم، *ولتاژ عناصر مقاومتی را به صورت بردارهائی در راستای محور* x *رسم می کنیم. ولتاژ خودالقاها را نیز به صورت بردارهائی*

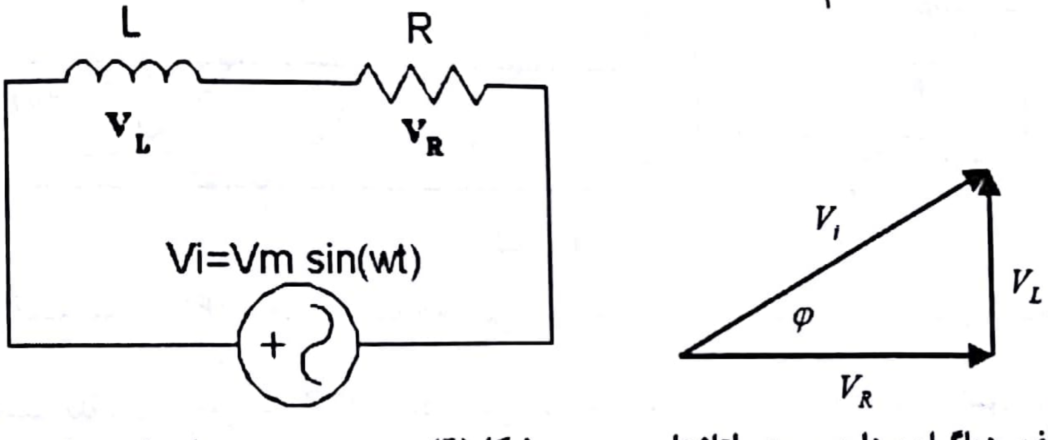
در راستای y+ و ولتاژ خازن ها را بردارهائی در راستای y- رسم می نمائیم. جمع کل، برابر برآیند بردارهای رسم شده خواهد بود.

مداری را در نظر بگیرید که در آن یک سلف و یک مقاومت به صورت سری بهم وصل شده باشند (شکل ۴). اگر جریان به صورت $I = I_m \sin \omega t$ باشد، آنگاه چون جریان متناوب است، نیروی محرکه القایی در سیم‌پیچ بوجود می‌آید که با رابطه $\varepsilon = L\frac{dI}{dt}$ مشخص می‌گردد. با توجه به شکل(۴) می‌توان نوشت:

$$V_i = V_R + V_L = RI + L\frac{dI}{dt} \qquad (۷)$$

اگر بجای I مقدارش را قرار دهیم داریم:

$$V_i = RI_m \sin \omega t + L\omega I_m \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}) \qquad (۸)$$



الف- دیاگرام برداری جمع ولتاژها　　شکل(۴)　　ب- اجزای مدار

با توجه به شکل(۴) و رابطه (۸) روشن است که جمع ولتاژها به صورت زیر خواهد بود:

$$V_m^2 = I_m^2 R^2 + I_m^2 (L\omega)^2 \qquad (۹)$$

جریان با ولتاژ مقاومت V_R هم فاز است، زیرا $V_R = RI$ می باشد. ϕ ، زاویه بین V_i و V_R در شکل(۴) از رابطه:

$$\tan\varphi = \frac{V_L}{V_R} = \frac{L\omega I}{RI} = \frac{L\omega}{R} \qquad (۱۰)$$

به دست می آید. این زاویه در واقع اختلاف فاز بین ولتاژ ورودی و جریان مدار نیز هست. امپدانس یا همان مقاومت ظاهری در مدار از جمع برداری امپدانس اجزای مدار به دست می آید. یعنی داریم:

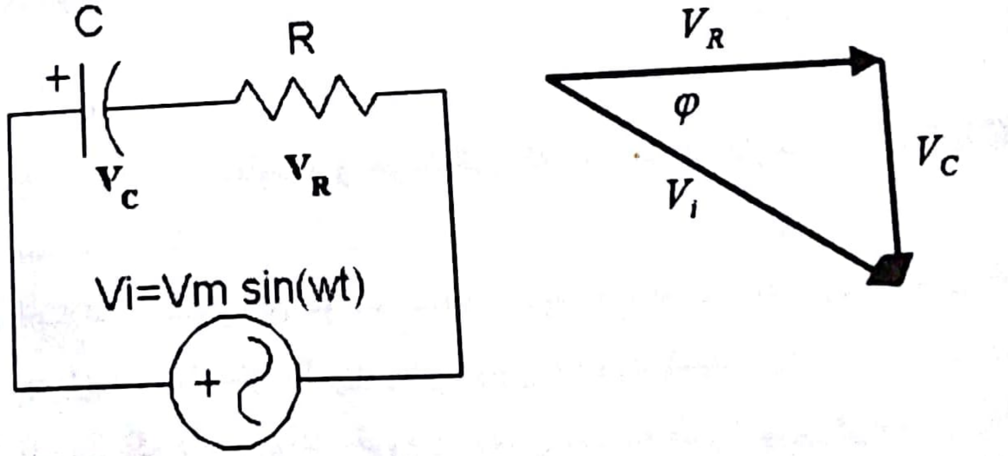
$$Z = \sqrt{R^2 + (L\omega)^2} \qquad (11)$$

که در آن R مقاومت اهمی، $Z_L = L\omega$ مقاومت ظاهری خودالقا و Z، مقاومت ظاهری کل مدار است. رابطه زیر (مشابه قانون اهم برای جریانهای DC) بین ولتاژ، امپدانس و جریان AC مدار وجود دارد:

$$V = ZI = \sqrt{R^2 + (L\omega)^2}\, I \qquad (12)$$

حال مداری را در نظر بگیرد که مانند شکل(۵) از یک خازن و مقاومت سری تشکیل شده باشد. همانطور که دیدیم، خازن در جریانهای متناوب، مقاومتی از خود نشان می‌دهد. امپدانس خازن $Z = \frac{1}{C\omega}$ است که تابعی از فرکانس زاویه ای ولتاژ ورودی و ظرفیت خازن می باشد. برای مدار شکل(۵) داریم:

$$V_1 = V_R + V_C = RI_m \sin\omega t + \frac{I_m}{C\omega}\sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) \qquad (13)$$



الف: دیاگرام ولتاژ اجزای مدار   شکل(۵)   ب : مدار RC

با توجه به دیاگرام ولتاژها در شکل ۵-الف داریم:

$$V_1^2 = I^2R^2 + I^2(\frac{1}{C\omega})^2 \qquad (14)$$

در نتیجه:

$$V_{\circ} = \sqrt{R^{2} + (\frac{1}{C\omega})^{2}}\, I = ZI \qquad (۱۵)$$

با توجه به (۱۵) مقاومت ظاهری مدار (امپدانس) از جمع برداری مقاومت ظاهری اجزای مدار به دست می آید. *مقاومت ظاهری خازن را باید به صورت برداری در راستای -y* رسم کرد. یعنی داریم:

$$Z = \sqrt{R^{2} + (\frac{1}{C\omega})^{2}} \qquad (۱۹)$$

مقاومت ظاهری

زاویه φ، اختلاف فاز بین ولتاژ و جریان است. این زاویه از رابطه $\tan\varphi = \frac{\frac{1}{C\omega}}{R} = \frac{1}{RC\omega}$ به دست می آید.

روش انجام آزمایش

تذکر: برای اندازه‌گیری ولتاژها و جریانها تا آنجا که ممکن است از یک دامنه *(Range)* دستگاه اندازه‌گیری استفاده کنید. فراموش نکنید که مقادیر باید در حالت AC دستگاه اندازه‌گیری شوند.

الف) مدار R-L

۱- با نوسان ساز، مقاومت و خودالقائی که در اختیار دارید مدار شکل(۴) را ببندید.

۲- اختلاف پتانسیل‌های دو سر سلف، مقاومت و نوسان ساز و همچنین شدت جریان مدار را اندازه بگیرید و در جدول(۱) وارد کنید.

۳- با ثابت نگه داشتن ولتاژ خروجی نوسان ساز به طور تئوری فرکانسی را که به ازای آن $V_R = V_L$ می‌شود را بیابید($f_{\circ} = \frac{R}{2\pi L}$) و فرکانس مولد موج را روی آن فرکانس(در حدود آن) تنظیم کنید سپس ولتاژ مقاومت و سلف و ولتاژ کل

مقادیر را یادداشت کنید و این کار را برای ۵ فرکانس بیشتر و ۵ فرکانس کمتر انجام دهید و نتایج را در جدول(۲) وارد کنید.

حال نمودار V_R و V_L را به طور همزمان بر حسب f رسم کنید و از روی نمودار f_0 را مشخص کنید و با توجه به آن ضریب خودالقایی L را محاسبه کنید و سپس در فرکانس f_0 ولتاژ دو سر مقاومت و سلف را به ورودی‌های ۱ و ۲ اسیلوسکوپ بدهید و با قرار دادن در حالت x-y اختلاف فاز را اندازه بگیرید و در جدول(۲) وارد نمایید.

ب) مدار R-C

۱- مدار شکل(۵ را ببندید . ابتدا به طور تئوری فرکانسی را که به ازای آن $V_R=V_C$ را از رابطه $f=\frac{1}{2\pi RC}$ به دست آوردید سپس ولتاژ مولد موج را روی مقدار معینی تنظیم کرده و تا آخر آزمایش تغییر ندهید.

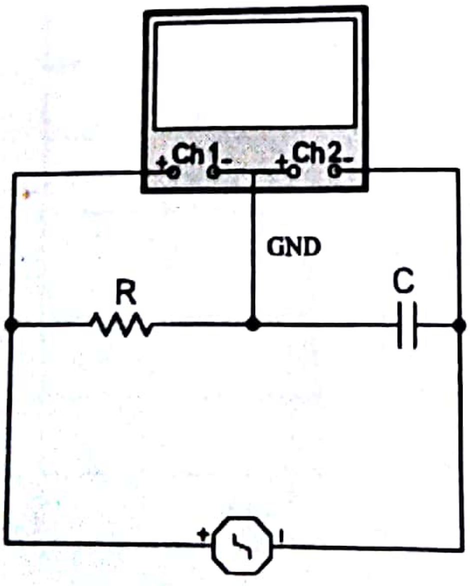
۲- فرکانس مولد موج را روی فرکانس محاسبه شده قرار دهید.

۳- اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت، خازن و مولد و همچنین جریان مدار را اندازه بگیرید و در جدول(۳) وارد کنید.

۴- حال برای ۵ فرکانس بالاتر و ۵ فرکانس پایین تر از فرکانس تشدید همین کار را انجام دهید و نتایج را در جدول(۳) وارد کنید.

روش دوم:

در این روش ولتاژ و فرکانس از روی اسیلوسکوپ اندازه گیری می شود. به این ترتیب که مداری مطابق شکل(۶) ببندید. دو سر خازن را به کانال۱ اسیلوسکوپ و دو سر مقاومت را نیز به کانال۲ اسیلوسکوپ وصل کنید. با قرار دادن اسیلوسکوپ در وضعیت متناوب(*chop*) هر دو موج ولتاژ مقاومت و خازن را مشاهده کنید سپس سلکتور *Volt/Div* هر دو کانال را روی



شکل(۶)

یک عدد معین قرار دهید(مثلاً هر دو را روی V ۱ قرار دهید، سپس فرکانس را آنقدر تغییر دهید که دامنه دو موج با هم برابر شوند سپس با اندازه گیری فرکانس یکی از دو موج و ولتاژ هر کدام، نتایج را در جدول(۳) یادداشت کنید. سپس فرکانس مولد موج را کمتر کنید و فرکانس و ولتاژها را اندازه‌گیری کنید و این کار را برای ۵ فرکانس بیشتر از f_0 و ۵ فرکانس کمتر انجام دهید و نتایج را در جدول(۳) یادداشت کنید . توجه کنید که در موقع اتصال سیگنالها به اسیلوسکوپ دو اتصال بدنه(زمین) ورودی‌ها را به نقطه وسط مقاومت و خازن متصل کنید. آیا می‌توانید اختلاف فاز این دو موج را اندازه بگیرید؟ آزمایش فوق برای مدار RL تکرار کنید.

۱- مقاومت ظاهری مدار یعنی چه؟

۲- چگونه می توان در مدارهای R-C و R-L اختلاف فاز بین ولتاژ و جریان را افزایش داد؟

جدولهای آزمایش شماره ۶

جریانهای متناوب در مدارهای R-C و R-L

V_R	V_L	V_Z	$I=\frac{V_R}{R}$	Z	L

جدول (۱)

f						f_0					
V_L											
V_R											
V_Z											
R											
$I=\frac{V_R}{R}$											
φ محاسبه											
φ اسکوپ											

جدول(۲)

f						f_0					
V_C											
V_R											
V_Z											
$I=\frac{V_R}{R}$											
اسیلوسکوپ											
V_C											
V_R											

جدول(۳)

آزمایش شماره ۷

جریان متناوب در مدار R-L-C و پدیده تشدید

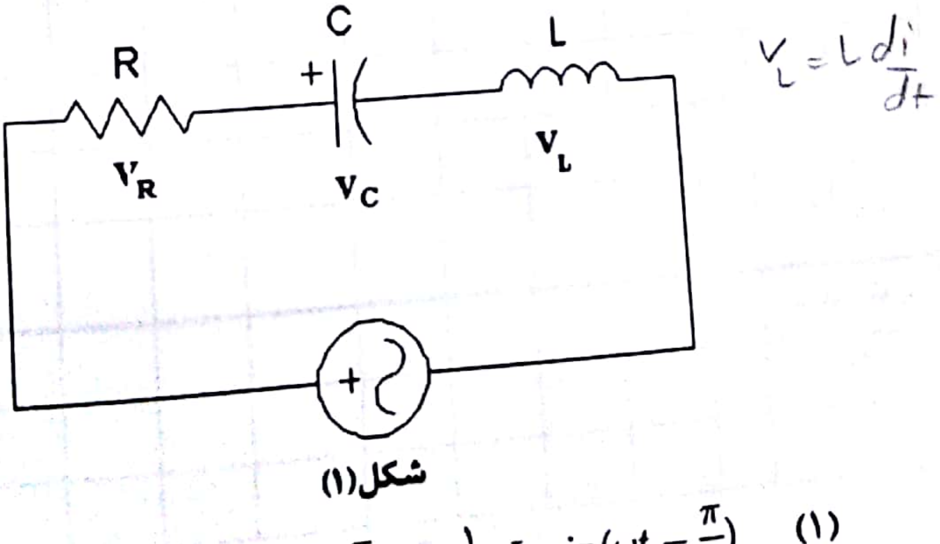
هدف:

- بررسی جریان و ولتاژ در مدارهای R-C-L و پدیده تشدید.
- رسم منحنی تغییرات شدت جریان این مدارها برحسب فرکانس جریان.

وسایل آزمایش: نوسان‌ساز، خودالقا (سیم‌پیچ)، خازن، مقاومت، اسیلاتور، ولت‌متر، آمپرمتر، هسته آهنی.

مبانی نظری

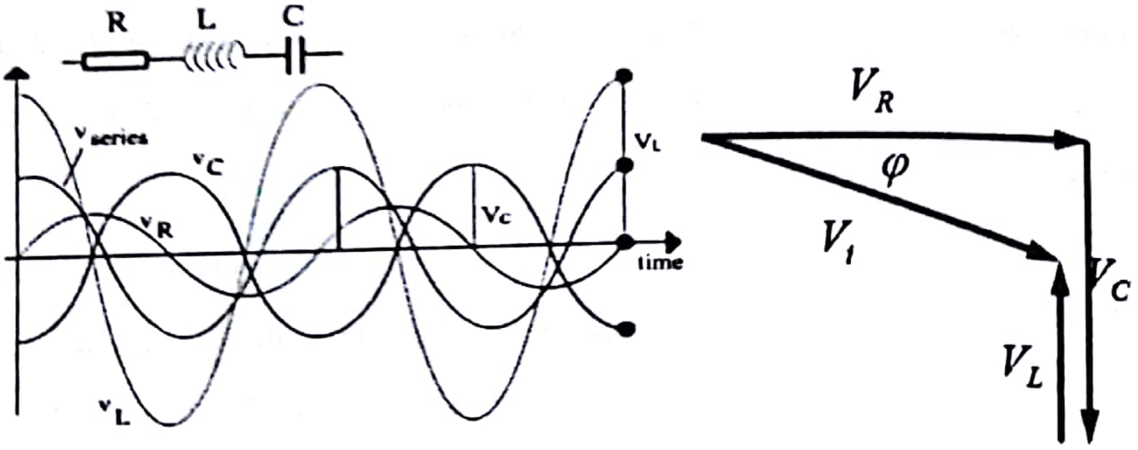
ساده‌ترین مدار R-L-C از یک سیم‌پیچ، یک خازن و یک مقاومت، که بصورت سری با منبع تغذیه و آمپرمتر قرار گرفته اند، تشکیل می‌شود. می‌دانیم که اختلاف پتانسیل دو سر سیم‌پیچ برابر $L\frac{dI}{dt}$، اختلاف پتانسیل دو سر خازن $V_C = \frac{q}{C} = \frac{1}{C}\int idt$، و اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت برابر RI است. حال مدار R-C-L شکل(۱) را در نظر بگیرد و فرض کنید اختلاف پتانسیل منبع به صورت سینوسی تغییر کند، بطوری که بتوان شدت جریان مدار را به شکل $I = I_m \sin\omega t$ نمایش داد. در این صورت طبق قانون ولتاژ کیرشهف داریم:



شکل(۱)

$$V = RI_m \sin\omega t + L\omega I_m \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}) + \frac{1}{C\omega} I_m \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) \qquad (1)$$

رابطه فوق نشان می‌دهد که ولتاژ دو سر خازن به اندازه $\frac{\pi}{۲}$ نسبت به جریان و به اندازه π نسبت به ولتاژ دو سر سلف عقب است. این رابطه را می‌توان به شکل برداری زیر (شکل ۲) نمایش داد. از این شکل نتیجه می‌شود که:



شکل (۲) : نمایش برداری ولتاژها در مدار شکل۱

$$V = ZI_m \sin(\omega t + \phi) \qquad (۲)$$

که در آن داریم:

$$Z = \sqrt{R^۲ + \left(L\omega - \frac{۱}{C\omega}\right)^۲} \qquad (۳)$$

$$\tan\phi = \frac{V_L - V_C}{V_R} = \frac{I_m(L\omega - \frac{۱}{C\omega})}{I_m R} = \frac{L\omega - \frac{۱}{C\omega}}{R} \qquad (۴)$$

در محاسبات فوق فرض کرده‌ایم که مقاومت اهمی سلف ناچیز است.

چنان که اشاره شد، سلف و خازن در حالت کلی در مدارهای R-C-L سبب ایجاد اختلاف فاز φ بین جریان و ولتاژ می‌گردند. خازن باعث می گردد که ولتاژ مدار نسبت به جریان تأخیر فاز داشته باشد، در حالی که سلف سبب تقدم فاز ولتاژ نسبت به جریان می‌شود. به عبارت دیگر عمل سلف و خازن از نظر ایجاد اختلاف فاز عکس یکدیگر است. حال با توجه به رابطه (۴) ملاحظه می‌شودکه در حالت خاصی که $X_L = X_C$ است، فاز φ صفر می‌شود. در این حالت بین اختلاف پتانسیل اعمال شده به مدار و شدت جریان آن اختلاف فازی وجود نخواهد داشت. از رابطه (۴) پیداست که امپدانس کل مدار در چنین حالتی کمینه است و به ازاء یک ولتاژ معین دامنه شدت

جریان به ماکزیمم مقدار خود خواهد رسید. با توجه به (۴) ایـن مقـدار کمینـه برابـر R است. شرط تشدید را به شکل زیر هم می‌توان نوشت.

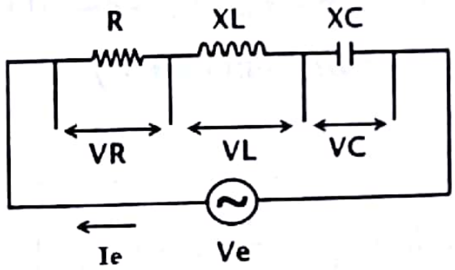
$$X_L = X_C \rightarrow L\omega = \frac{۱}{C\omega} \rightarrow LC\omega^۲ = ۱ \qquad (۵)$$

اگر در مداری، ω و C ثابت باشند، می‌توان با تغییر L مدار را به حالت تـشدید رساند. اما اگر C و L ثابت باشند با تغییر دادن ω مدار به وضعیت تشدید می رسد.

روش انجام آزمایش

الف) تحقیق قانون اهم در مدار R-L-C

۱- مطابق شکل مدار زیر را ببندید.



شکل(۳)

۲- فرکانس نوسان ساز را روی مقدار معینی ثابت نگهدارید. ولتاژ نوسان‌ساز را هم روی اولین مقدار جدول(۱) تنظیم نمائید.

۳- حال شدت جریان مدار را اندازه بگیریـد ($I = \frac{V_R}{R}$) همچنـین ولتـاژ دو سـر مدار(V_t) را اندازه بگیرید و در جدول(۱) بنویسید.

۴- آزمایش را برای ولتاژهای دیگر مشخص شده در جدول(۱) انجام دهید. دقت فرمایید که مقدار فرکانس همیشه روی مقدار اولیه ثابت باشد.

۵- با استفاده از جدول(۱) ، نمودار V_t را بر حسب I رسم کنید و با توجه به شیب نمودار مقدار مقاومت ظاهری مدار(Z) را به دست آورید و با مقدار تئوری آن مقایسه کنید و درصد خطای آن را محاسبه کنید.

ب) تعیین فرکانس تشدید و رسم منحنی پاسخ مدار R-L-C

مدار شکل(۳) را ببندید و دامنه ولتاژ نوسان ساز سینوسی را روی عدد دلخواهی ثابت نگهدارید سپس با توجه به رابطه $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ فرکانس تشدید را از نظر تئوری محاسبه کنید و فرکانس نوسان ساز را روی آن فرکانس تنظیم کنید(در صورتی که فرکانس محاسبه شده روی دستگاه قابل تنظیم نیست روی نزدیکترین فرکانس به فرکانس محاسبه شده تنظیم کنید.)

سپس با ولتمتر AC ولتاژ دو سر مقاومت، سلف، خازن و کل مدار را اندازه گیری کنید و در جدول(۲) یادداشت نمایید، سپس برای ۵ فرکانس کمتر و ۵ فرکانس بیشتر از فرکانس تشدید اندازه گیری ها را تکرار کنید.

سپس نمودار I بر حسب f (یا I بر حسب $\log f$) را رسم کنید و از روی نمودار فرکانس تشدید را به دست آورید و با مقدار تئوری آن مقایسه کنید. و درصد خطای آن را به دست آورید. نتایج را در جدول(۳) بنویسید.

۱- چرا با تغییر دادن بسامد نوسان ساز در مدار R-L-C اختلاف پتانسیل دو سر منبع تغییر می‌کند.

۲- اگر آزمایش تعیین فرکانس را با یک مقاومت کم اهم تر انجام دهید، پهنا و ارتفاع منحنی چگونه تغییر خواهد کرد؟

۳- آیا ولتاژ دو سر مدار از طریق اندازه گیری با مقدار محاسبه شده در جدول(۲) یکسان است؟ اگر برابر نیست دلیل آن را بنویسید.

۴- برای اینکه مقاومت ظاهری از طریق نمودار و تئوری یکسان شود، چه باید کرد؟

جدولهای آزمایش شماره ۷

جریان متناوب در مدار R-L-C و پدیده تشدید

V_{PP}	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
V_R									
V_C									
V_L									
$I=\frac{V_R}{R}$									
V_1									
$\omega=$	$C=$		$L=$		$R=$				
$Z=\sqrt{R^2+\left(L\omega-\frac{1}{C\omega}\right)^2}=$			$Z_{\text{نمودار}}=$				= درصد خطا		

جدول (۱): تحقیق قانون اهم در مدار R-L-C

f											
ولتاژ دو سر مقاومت V_R											
ولتاژ دو سر سلف V_L											
ولتاژ دو سر خازن V_C											
ولتاژ دو سر مدار V_1											
$I=\frac{V_R}{R}$											
$Z=\frac{V_1}{I}$											
$Z=\sqrt{R^2+(X_L-X_C)^2}$											
$V_1=\sqrt{V_R^2+(V_L-V_C)^2}$											
$\varphi=\tan^{-1}(\frac{X_L-X_C}{R})$											
$\log f$											

جدول(۲): تعیین فرکانس تشدید و رسم منحنی پاسخ مدار R-L-C

آزمایش شماره ۸

ساخت آمپرمتر و ولتمتر با گالوانومتر

هدف:

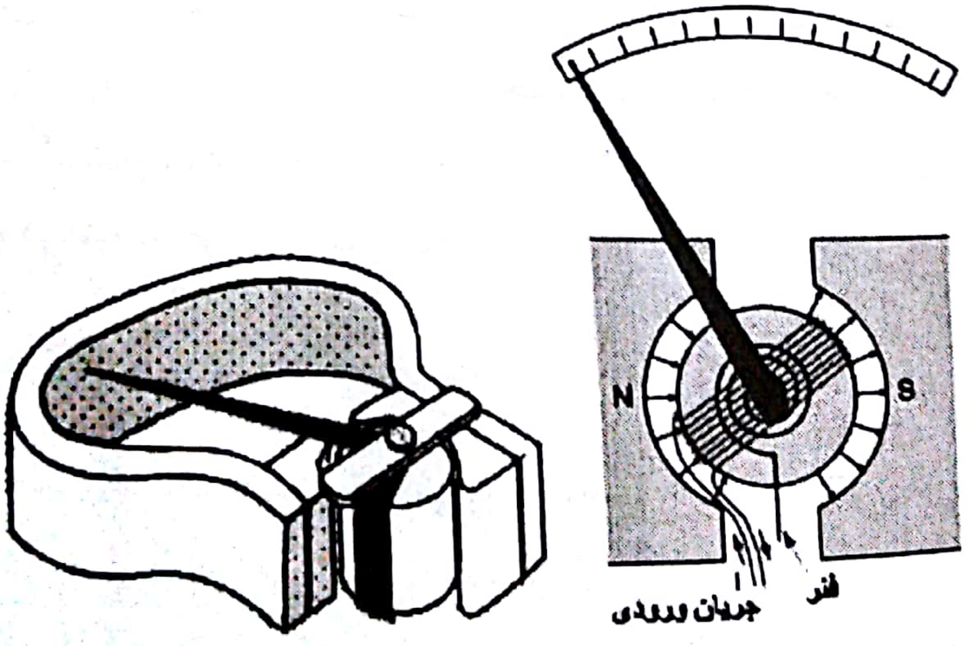
- شناخت و کاربرد گالوانومتر، آمپرمتر و ولتمتر.
- ساخت آمپرمتر با قابلیت اندازه گیری N برابر گالوانومتر.
- ساخت ولتمتر با قابلیت اندازه گیری N برابر گالوانومتر.

وسایل آزمایش: گالوانومتر، منبع تغذیه DC ، مولتی متر ، مقاومت های کم اهـم (مـثلاً ۱۰اهم) و پر اهم(۱۰۰کیلو اهم).

مبانی نظری

الف) گالوانومتر

دستگاهی است دقیق و حساس که بـرای انـدازه‌گیـری شـدت جریانهـای ضـعیف بکـار می‌رود. این دستگاه در دو نوع ساخته می‌شود. یکی گالوانومتر با قاب متحرک و دیگـری با آهن‌ربای متحرک. از آنجا که نوع اول متداول‌تر است فقـط همـین نـوع گـالوانومتر را توضیح می‌دهیم. شمای این دستگاه را در شکل(۱) ملاحظه می نمائید.



شکل(۱)

همانطور که در شکل ملاحظه می کنید، این دستگاه از یک سیم‌پیچ (قاب) که در وسط یک آهن‌ربای دائمی قرار دارد و می‌تواند حول محوری دوران نماید، تشکیل شده است. هرگاه از سیم پیچی که در یک میدان مغناطیسی قرار دارد جریان الکتریکی عبور کند، گشتاوری به آن وارد می‌شود که متناسب با شدت جریان عبور کرده از قاب(I) است. به عبارت دیگر می‌توان نوشت:

$$\tau = \mu B \sin\theta = (NIA)B\sin\theta = (NAB\sin\theta)I = kI \qquad (۱)$$

که در آن N تعداد دور سیم پیچ ، A مساحت قاب، B شدت میدان مغناطیسی و θ زاویه بین راستای میدان مغناطیسی و بردار عمود بر سطح قاب است. فنری نیز به قاب متصل است که وقتی قاب در اثر گشتاور τ انحراف پیدا می‌کند، باز و بسته می‌شود. از طرف فنر نیز گشتاوری مانند τ' به قاب وارد می‌گردد که متناسب با θ، زاویه چرخش است، بطوری که:

$$\tau' = k'\theta \qquad (۲)$$

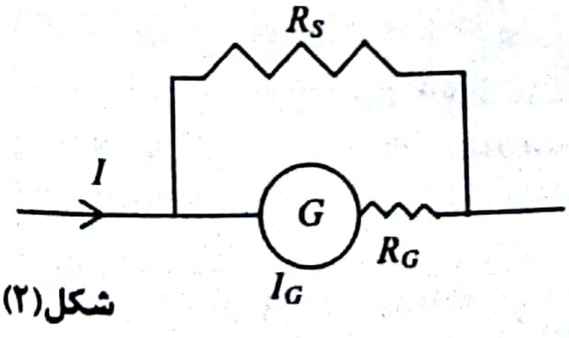
که در آن k' ضریب سختی پیچشی فنر می باشد. چون در حالت تعادل گشتاورهای τ و τ' با هم مساوی هستند، می‌توان از روابط (۱) و (۲) نتیجه گرفت که:

$$kI = k'\theta \Rightarrow I = \frac{k'}{k}\theta \qquad (۳)$$

مشاهده می‌شود که مقدار جریان متناسب با زاویه انحراف قاب است. پس می‌توان شدت جریان را از روی میزان انحراف قاب سنجید. وسیله سنجش می‌تواند یک عقربه باشد که در اثر گشتاور وارد شده به قاب حرکت میکند (شکل ۱) که می‌تواند زاویه انحراف قاب و در نتیجه جریان را نشان دهد.

ب) آمپرمتر

برای اندازه‌گیری شدت جریان بکار می‌رود و به طور سری در مدار قرار می‌گیرد. آمپرمتر از گالوانومتری که با یک مقاومت خیلی کم به صورت موازی بسته شده، تشکیل شده است (شکل ۲).



شکل(۲)

مقاومت R_S را اصطلاحاً **شلت** یا **مهار** می‌گویند. *مقاومت شنت خیلی کمتر از مقاومت گالوانومتر(R_G) است* به طوریکه بیشتر جریان از شنت می گذرد. در واقع مقاومت کم شنت باعث می‌شود که اولاً مقاومت کل دستگاه کم باشد و در نتیجه وقتی در مدار قرار می‌گیرد، مقاومت مدار و در نتیجه جریان آن را به میزان ناچیزی تغییر دهد. ثانیاً شدت جریان خیلی زیادی از قاب گالوانومترعبور نکند و آسیبی به آن نرسد. آمپرمترها معمولاً دارای دامنه‌های[1] مختلف‌اند. تغییر دامنه کار آمپرمتر، با تعویض مقاومت شنت انجام می گیرد.

- محاسبه R_S

اگر مقاومت شنت R_S، مقاومت قاب R_G، جریان ورودی به آمپرمتر I، جریان گالوانومتر I_G و جریان شنت I_S باشد، داریم:

$$I = I_s + I_G \quad (۴)$$

روشن است که گالوانومتر با مقاومت شنت موازی است، در نتیجه ولتاژ دو سر هر دو برابر است. یعنی:

$$R_S I_S = R_G I_G \quad (۵)$$

با استفاده از رابطه بالا و حذف I_S از رابطه(۴) داریم

$$I = \left[\frac{R_S + R_G}{R_S}\right] I_G \quad (۶)$$

اکنون با اندازه‌گیری جریان عبوری از گالوانومتر می توان جریان مدار را به دست آورد. لذا ابتدا معمولاً صفحه گالوانومتر را با کمک رابطه فوق بر حسب جریان مدار مدرج می کنند و آنچه به دست می آید آمپرمتر است. اگر ما بخواهیم با آمپرمتر ساخته شده جریان تا I که $I = NI_G$ می باشد را اندازه‌گیری کنیم از معادله (۶) داریم

$$NI_G = \left[(R_s + R_G) / R_S\right] I_G \;\Rightarrow\; N = \frac{R_S + R_G}{R_S} \quad (۷)$$

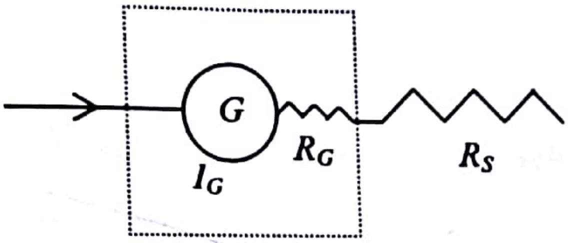
و با تعیین N مقدار مقاومت R_S که باید با گالوانومتر موازی شود به صورت زیر به دست می آید:

[1] *Range*

$$R_S = \frac{R_G}{N-1} \qquad (۸)$$

ج) ولت‌متر

ولت‌متر دستگاهی است که به کمک آن اختلاف پتانسیل بین دو نقطه را اندازه می‌گیرند. اساس ساختمان ولت‌متر نیز همان گالوانومتر است با این تفاوت که مقاومت بسیار بزرگی با سیم پیچ قاب آن به طورسری بسته شده است (شکل۳).



شکل (۳)

R_G مقاومت گالوانومتر و R_S مقاومت شنت است. دامنه های مختلف اندازه گیری ولتاژ، با تغییر مقاومت شنت حاصل می‌شود. روشن است که با گالوانومتر نمی‌توان مستقیماً اختلاف پتانسیل بین دو نقطه، مثلاً دو سر باطری را اندازه گرفت. زیرا وقتی گالوانومتر را به قطبهای مثبت و منفی باطری وصل می‌کنیم بعلت کم بودن مقاومت قاب، جریان نسبتاً زیادی (نسبت به ماکزیمم جریان قابل تحمل گالوانومتر) از آن عبور می‌کند و بنابراین حتی اگر گالوانومتر صدمه نبیند انحراف عقربه آن از ماکزیمم خود می‌گذرد و اندازه کمیت مورد نظر را درست نشان نمی‌دهد. ولت‌متر ایده‌آل باید دارای مقاومت درونی بینهایت باشد تا با وصل کردن آن بین دو نقطه، تغییری در اختلاف پتانسیل آن دو نقطه بوجود نیاورد. به همین دلیل مقاومت شنت را بسیار بزرگ می‌گیرند.

- محاسبه R_S

اگر مقاومت داخلی گالوانومتر R_G باشد و بتواند تا ولتاژ V_G را اندازه بگیرد. برای تبدیل آن به یک ولتمتری که بتواند تا ولتاژ V که $V = NV_G$ می باشد اندازه بگیرد باید مقاومت R_S را با آن سری کنیم، اگر جریان گالوانومتر را I_G در نظر بگیریم:

$$\left.\begin{array}{l} V = R_G I_G + R_S I_G \\ V = NV_G = NR_G I_G \end{array}\right\} \Rightarrow NR_G I_G = (R_G + R_S) I_G \quad (۱۰)$$

$$\Rightarrow R_S = (N-۱)R_G$$

به این ترتیب با دانستن N می توان مقاومتهای R_s را برای محدوده های مختلف محاسبه کرد.

روش انجام آزمایش

الف) ساخت آمپرمتر باقابلیت اندازه گیری N برابر گالوانومتر

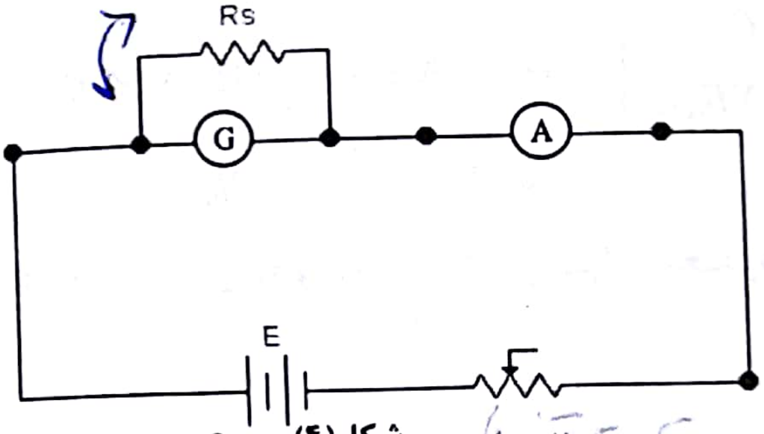
به وسیله اهم متر دیجیتالی مقدار مقاومت داخلی گالوانومتر را اندازه بگیرید و در جدول(۱) یادداشت کنید. با توجه به مشخصات گالوانومتر حداکثر جریانی که می تواند از خود عبور دهد(I_G) را در جدول(۱) بنویسید و از آنجا که هر مقاومتی در آزمایشگاه موجود نیست محاسبات را از آخر به اول انجام می دهیم یعنی ابتدا R_s را انتخاب میکنیم سپس N را به دست می آوریم و در نهایت I را محاسبه می کنیم و آزمایش را با آن مقاومت انجام می‌دهیم.

برای مثال اگر حداکثر جریان گالوانومتر $I_G = ۰/۱۵\ mA$ باشد و $R_G = ۱K\Omega$ و $R_s = ۱۰\Omega$ باشد و گالوانومتر از ۰ تا ۱۵ مدرج شده باشد داریم:

$\frac{I}{۱۵}$= هر درجه جدید	$I = NI_G$	$N = \frac{R_G}{R_s} + ۱$	مقاومت R_s شنت	R گالوانومتر(R_G)	I گالوانومتر (I_G)
۱/۰۱	mA ۱۵/۱۵	۱۰۱	۱۰ Ω	۱۰۰۰ Ω	۰/۱۵ mA

حال مانند مثال مقاومت کم اهم را انتخاب کنید و جدول(۱) را کامل کنید.

اکنون مدار شکل(۴) را ببندید و با تغییر رئوستا جریانهای مختلف را ایجاد کرده و جریان را یکبار با آمپرمتر دیجیتالی خوانده و یکبار هم از روی درجه بندی جدید گالوانومتر و در جدول(۲) یادداشت کنید و این کار را برای جریانهای مختلف تکرار کنید. جریانهای به دست آمده را با هم مقایسه کنید.

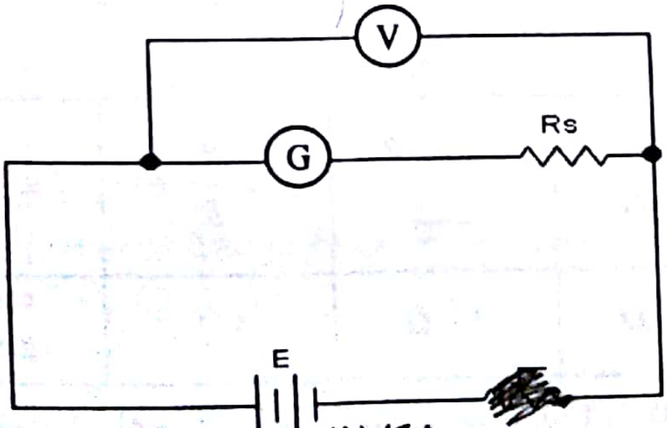


شکل(۴)

ب) ساخت ولتمتر با قابلیت اندازه گیری N برابر گالوانومتر

حداکثر ولتاژ مجاز گالوانومتر را که روی بدنه آن نوشته شده را در جدول(۳) یادداشت نمایید. سپس مقاومت معلوم R_s (مقاومت پر اهم مثلاً ۱۰۰ کیلو اهم) را انتخاب کنید و محاسبات جدول(۳) را انجام دهید:

حال مدار شکل(۵) را ببندید و با تغییر مقاومت رئوستا و ولتاژهای مختلف را یکبار از روی ولتمتر و بار دیگر از روی ولتمتر ساخته شده بخوانید و در جدول(۴) یادداشت نمایید این کار را برای ولتاژهای مختلف تکرار کنید و نتایج را با هم مقایسه کنید و در صورت اختلاف علت آن را توضیح دهید.



شکل(۵)

اگر بخواهیم آزمایش را دقیقتر انجام دهیم باید ضریب تصحیح را برای آن به دست آوریم یعنی به ازای یک جریان(کوچکتر از جریان گالوانومتر) جریان خوانده شده به جریان واقعی، ضریب تصحیح را حساب کرده آزمایش اول را با انجام دادن ضریب تصحیح دوباره انجام دهید.

جدولهای آزمایش شماره ۸

ساخت آمپرمتر و ولتمتر با گالوانومتر

مقیاس هر درجه جدید	$I = NI_G$	$N = \frac{R_G}{R_s} + ۱$	مقاومت R_S شنت	R گالوانومتر(R_G)	I گالوانومتر (I_G)

جدول(۱)

جریان	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_6	I_7	I_8
آمپرمتر ساخته شده								
آمپر متر دیجیتال								

جدول(۲)

مقیاس هر درجه جدید	$V = NV_G$	$N = \frac{R_s}{R_G} + ۱$	مقاومت R_S شنت	R گالوانومتر(R_G)	V گالوانومتر (V_G)

جدول(۳)

ولتاژ	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7	V_8
ولتمتر ساخته شده								
ولتمتر دیجیتال								

جدول(۴)

آزمایش شماره ۹

اندازه گیری مقاومت درونی باطری و مقاومت درونی ولتمتر عقربه ای

هدف:

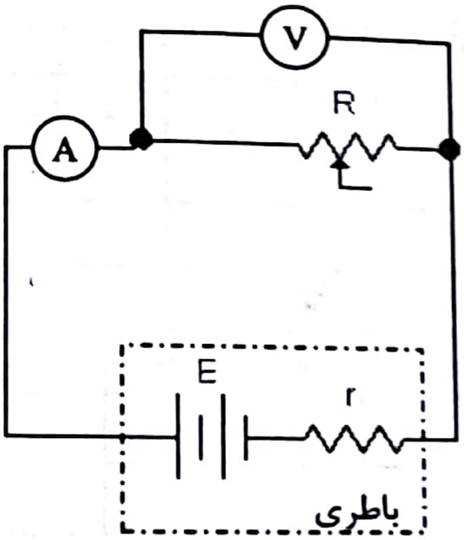
- اندازه گیری مقاومت درونی باطری از دو روش
- اندازه گیری مقاومت درونی ولت متر عقربه ای

وسایل آزمایش: باطری ۱/۵ ولتی، منبع تغذیه، ولت متر عقربه ای، رئوستا، مقاومت

مبانی نظری

الف) مقاومت درونی باطری

باطری ها معمولاً دارای مقاومت درونی هستند و این مقاومتی است که الکترولیت باطری به هنگام عبور جریان الکتریسیته از خود نشان می دهد. مقاومت درونی باطری مقدار ثابت نیست بلکه با زمان و با تغییر جریانی که از آن کشیده می شود تغییر می کند. اگر یک باطری با نیروی محرک E و مقاومت r به یک مقاومت خارجی R متصل شود(شکل۱) آنگاه جریانی که از مدار می‌گذرد(I) برابر است با:



شکل(۱)

$$I = \frac{E}{R+r} \quad \Rightarrow \quad R = -r + \frac{E}{I} \qquad (۱)$$

اگر r ثابت فرض شود، آنگاه نمودار تغییرات R بر حسب $\frac{1}{I}$ خط راستی خواهد شد که شیب آن برابر نیرومحرکه باطری و عرض از مبدأ آن $-r$ خواهد بود.

ب) مقاومت درونی ولت متر

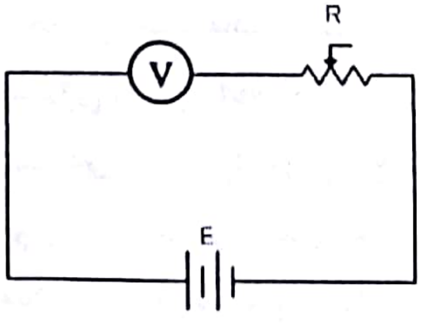
در مدار شکل(۲) اگر از مقاومت درونی منبع تغذیه در مقابل مقاومت بقیه مدار صرفنظر کنیم که افت ولتاژ دو سر ولتمتر(با مقاومت درونیR_v) و مقاومت متغیر R باید برابر با نیرو محرکه منبع E باشد لذا می توان نوشت:

$$E = (R + R_v)I \qquad (۲)$$

و چون اختلاف پتانسیلی که به وسیله ولت متر اندازه گیری می شود برابر است با حاصلضرب مقاومت درونی ولت متر در جریانی که از آن می گذرد $V = R_v I$ خواهیم داشت:

$$E = (R + R_v)\frac{V}{R_v} \quad \Rightarrow \quad R = -R_v + \frac{R_v E}{V} \qquad (۳)$$

پس اگر نمودار تغییرات R را بر حسب $\frac{1}{V}$ رسم کنیم یک خط راست به دست خواهد آمد که عرض از مبدأ آن برابر $-R_v$ و طول از مبدأ (روی محور $\frac{1}{V}$) برابر $\frac{1}{E}$ است.



شکل(۲)

ج) مقاومت درونی باطری

در شکل(۱) توان مقاومت برابر است با $P = RI^2$ که جریان از رابطه(۱) برابر است با $I = \frac{E}{R + r}$ که توان مقاومت بر حسب R ، r و E برابر است با

$$P = R\left(\frac{E}{R + r}\right)^2 \qquad (۴)$$

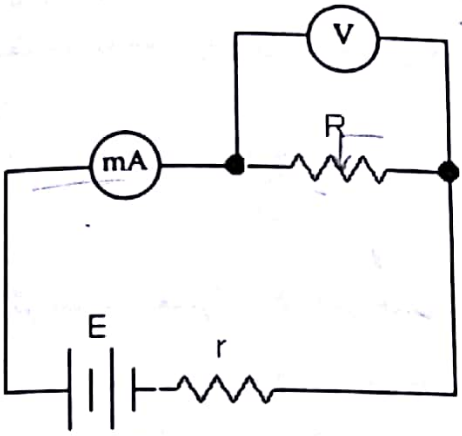
اگر از رابطه(۴) نسبت به R مشتق بگیریم و ماکزیمم توان را به دست آوریم خواهیم داشت:

$$\frac{dP}{dR} = \frac{(R + r)^2 E^2 - 2(R + r)E^2 R}{(R + r)^4} = 0 \quad \Rightarrow \quad R = r \qquad (۵)$$

پس حداکثر توان موقعی رخ خواهد داد که مقاومت خارجی با مقاومت داخلی باطری برابر شود. اگر به ازاء مقاومتهای مختلف، توان آن محاسبه گردد با رسم نمودار P بر حسب R جایی که توان بیشینه می‌شود(منحنی به شکل سهمی است) مقاومت برابر مقاومت داخلی است.

روش انجام آزمایش:

الف) اندازه گیری مقاومت درونی باطری



شکل(۳)

۱- یک باطری شیمیایی ۱/۵ ولتی را انتخاب کنید و به وسیله ولتمتر مقدار نیروی محرکه E را اندازه بگیرید. سپس مدار شکل(۳) را ببندید و از یک رئوستای ۱۰۰ اهمی استفاده کنید و آمپرمتر دیجیتالی را روی $200mA$ قرار دهید. ولتمتر عقربه ای را روی رنج ۱/۵ ولت تنظیم کنید و هر بار با تغییر مقاومت متغیر R مقدار شدت جریان و ولتاژ را اندازه بگیرید و جدول(۱) را کامل کنید.

۲- نمودار تغییرات R بر حسب $\frac{1}{I}$ را روی کاغذ میلیمتری و با انتخاب مقیاس مناسب رسم کنید و عرض از مبدأ نمودار را که همان مقاومت درونی باطری(r) است ، را به دست آورید. همچنین با اندازه گیری شیب نمودار مقدار E را با مقدار واقعی مقایسه کنید.

ب) اندازه گیری مقاومت درونی منبع تغذیه DC

آزمایش قبل را با استفاده از منبع تغذیه مستقیم نیز انجام دهید و ولتاژ منبع تغذیه را روی ۱/۵ ولت تنظیم کنید و جدول(۲) را کامل کنید و با رسم نمودار R بر حسب $\frac{1}{I}$ روی کاغذ میلیمتری مقدار r و E را به دست آورید.

ج) اندازه گیری مقاومت درونی باطری با بیشینه کردن توان

۱- مدار شکل(۳) را ببندید و به ازای مقاومتهای مختلف جریان و ولتاژ را اندازه بگیرید و از آنجا که هدف، رسم نمودار توان بر حسب مقاومت است باید مقاومتهایی که روی رئوستا به وجود می آورید نزدیک به مقدار مقاومت درونی باطری باشد. برای این کار

مقدار مقاومت داخلی که از قسمت(الف) به دست آورده اید را در نظر بگیرید و برای چند مقاومت قبل و چند مقاومت بعد از آن آزمایش را تکرار کنید و جدول(۳) را کامل کنید.

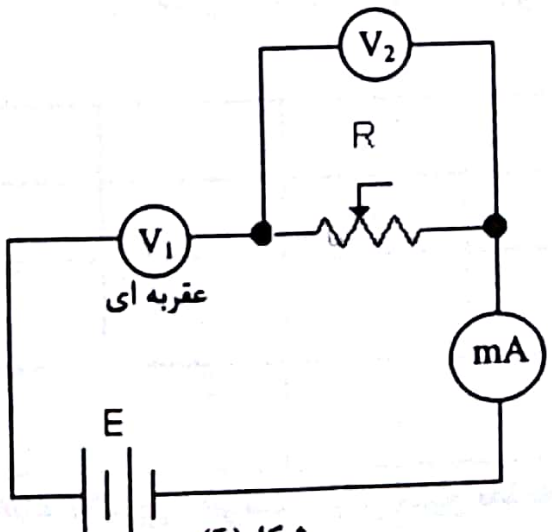
۲- با رسم نمودار P بر حسب R روی کاغذ میلیمتری، حداکثر مقدار توان را از روی نمودار به دست آورید (این همان مقاومت داخلی باطری است). مقاومت داخلی به دست آمده را با قسمت(الف) مقایسه کنید.

د) اندازه گیری مقاومت درونی ولتمتر عقربه‌ای

۱- مدار شکل(۴) را ببندید و مقدار ولتاژ منبع تغذیه را روی $10V$ تنظیم کنید و ولتمتر عقربه ای را روی رنج $10V$ قرار دهید.

۲- با تغییر مقاومت متغیر هر دفعه ولتاژ V_1 و V_2 و مقدار جریان را اندازه بگیرید. (اگر آوومتر در اختیار دارید هر دفعه یکبار جریان و بعد مدار را قطع کنید و ولتاژ V_2 را اندازه بگیرید و جدول(۴) را کامل کنید.

۳- نمودار تغییرات R بر حسب $\frac{1}{V_1}$ را روی کاغذ میلیمتری و با انتخاب مقیاس مناسب رسم کنید. سپس طول از مبدأ و عرض از مبدأ نمودار را اندازه گرفته و مقادیر R_V و E را تعیین کنید.



شکل(۴)

۱- اگر مقاومت درونی منبع را ثابت و برابر r گرفته و از آن صرفنظر نکنیم چه تأثیری در نتیجه آزمایش خواهد داشت؟

۲- مقاومت درونی باطری به چه عواملی بستگی دارد؟

۳- خطاهای این آزمایش را نام ببرید و توضیح دهید که چگونه می توان آنها را کم کرد؟

جدولهای آزمایش شماره ۹

اندازه گیری مقاومت درونی باطری و مقاومت درونی ولتمتر عقربه ای

$V\ (V)$						
$I\ (mA)$						
$R=\frac{V}{I}\ (\Omega)$						
$\frac{1}{I}\ (A)^{-1}$						

جدول(۱): اندازه گیری مقاومت درونی باطری

$V\ (V)$						
$I\ (mA)$						
$R=\frac{V}{I}\ (\Omega)$						
$\frac{1}{I}\ (A)^{-1}$						

جدول(۲): اندازه گیری مقاومت درونی منبع تغذیه DC

V (V)						
I (mA)						
$P=V.I$ (W)						
$R=\frac{V}{I}$ (Ω)						

جدول(۳): اندازه گیری مقاومت درونی باطری با بیشینه کردن توان

V_2 (V)						
I (mA)						
$R=\frac{V}{I}$ (Ω)						
V_1 (V)						
$\frac{۱}{V_۱}$ $(V^{-۱})$						

جدول(۴): اندازه گیری مقاومت درونی ولتمتر عقربه‌ای

آزمایش شماره ۱۰

بررسی پدیده‌های الکترومغناطیسی

هدف:

- بررسی شار و القاء مغناطیسی، نیروی وارد بر سیم جریان دار در میدان مغناطیسی و نیروی محرکه القایی (قانون القاء فاراده)، ترانسفورماتورها و جریان فوکو

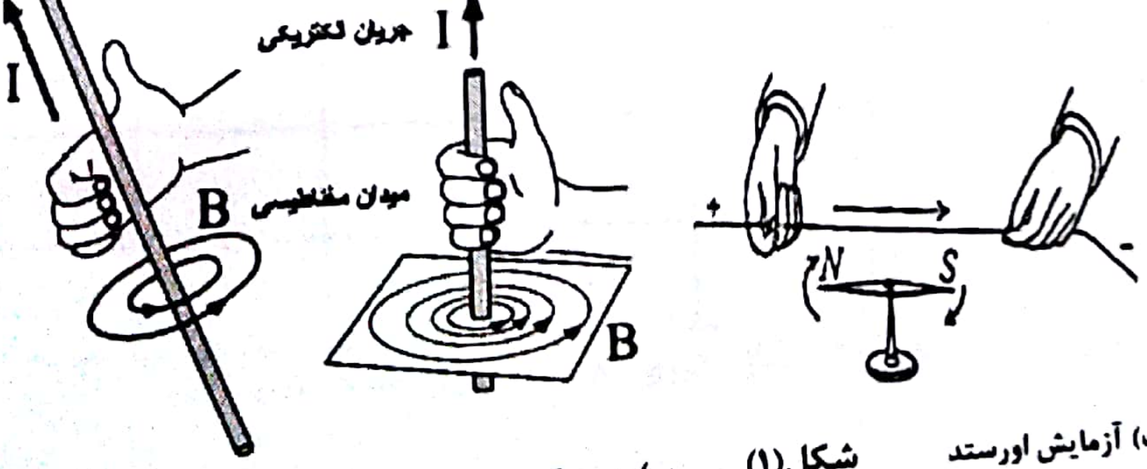
وسایل آزمایش: الکترومگنت، رئوستا، حلقه‌های فلزی، آهنربای تیغه‌ای، سیم‌پیچ و لامپ، آمپرمتر، ولت‌متر و گالوانومتر

مبانی نظری

اولین تجربیاتی که به طور علمی رابطه نزدیک پدیده های الکتریکی و مغناطیسی را نمایان کرد، در سال ۱۸۱۹ میلادی توسط اورستد فیزیکدان دانمارکی پس از مشاهده تصادفی حرکت عقربه قطب نما هنگام قطع و وصل شدن کلید برق انجام گردید. آزمایشات او نشان داد که :

هرگاه از مداری جریان الکتریکی عبور کند، در اطراف مدار میدان مغناطیسی ایجاد خواهد شد.

اگر مدار حامل جریان، یک سیم راست باشد، خطوط میدان مغناطیسی دوایر متحدالمرکزی مانند شکل(۱) خواهند بود.



الف) آزمایش اورستد **شکل(۱)** **ب) معین کردن جهت میدان مغناطیسی به کمک جهت جریان**

مایکل فارادی دانشمند انگلیسی به کمک آزمایش نشان داد که، تغییر زمانی میدان مغناطیسی نیزباعث ایجاد میدان الکتریکی می گردد. کمیتهایی که در واقع به هم مربوطند، شار مغناطیسی و نیروی محرک القائی هستند. شار مغناطیسی به صورت $\Phi = \int \vec{B} \cdot d\vec{s}$ تعریف می گردد، که در آن $\vec{B}$ میدان مغناطیسی و $d\vec{s}$ جزئی از سطح است که میدان مغناطیسی آن را قطع می کند. رابطه ریاضی توصیف کننده این پدیده به صورت

$$\varepsilon = -\frac{\partial \Phi}{\partial t} \qquad (1)$$

است. به عبارت دیگر: **تغییر شار مغناطیسی نسبت به زمان در یک مدار، ایجاد نیروی محرکه القایی می‌کند.**

تغییر شار به دو صورت ممکن می‌گردد:

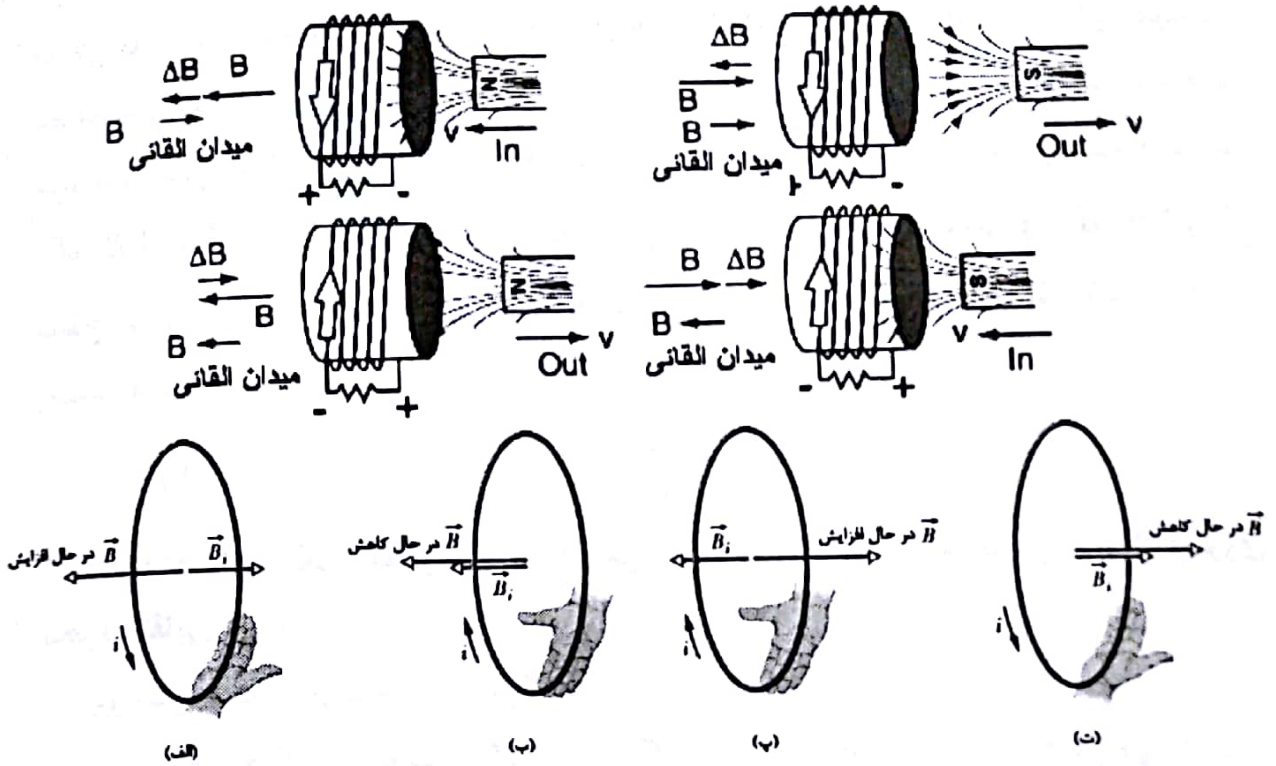
۱- *حرکت یا تغییر شکل مداری که میدان مغناطیسی از آن عبور می کند.*

۲- *تغییر میدان مغناطیسی نسبت به زمان*

لنز دانشمند آلمانی همزمان با فارادی آزمایشاتی انجام داد که در نتیجه آنها قانون مهمی را در مورد جهت تغییرات جریان القائی کشف کرد. بیان قانون لنز به این صورت است:

جهت نیروی محرکه و جریان القایی همیشه طوری است که با تغییر شار القا کننده مخالفت می‌کند. به بیان دیگر جهت جریان القایی طوری است که همواره به وسیله آثار الکترومغناطیسی که ایجاد می کند با عامل به وجودآورنده جریان مخالفت می‌کند.

شکل(۲) چگونگی القا و جهت میدان القائی در یک سیم پیچ را نشان می دهد. عامل القا کننده در این شکل آهنربای متحرک می باشد، که به سیم پیچ نزدیک یا از آن دور می گردد.



شکل(۲)

به کمک قوانین فوق می توان به بسیاری از پدیده های مغناطیسی (البته به جز امواج الکترومغناطیسی) پاسخ داد. مثلا:

اگر جریانی از مداری عبور کند و این مدار در میدان مغناطیسی باشد، از طرف میدان مغناطیسی نیرویی به آن وارد می‌شود که موجب حرکت یا تغییر شکل آن می‌شود (نیروی لاپلاس).

روشن است که جریان عبوری از سیم باعث ایجاد میدان مغناطیسی می گردد و در اثر برهمکنش میدان مغناطیسی خارجی و میدان مغناطیسی حاصل از جریان، به سیم نیروئی وارد می شود. اگر جریان سیم I بوده و طول آن با بردار $\vec{l}$ نمایش داده شود و سیم در میدان مغناطیسی خارجی ثابت $\vec{B}$ قرار گیرد، آنگاه نیروی وارد بر سیم از رابطه زیر به دست می آید:

$$\vec{F} = I\vec{l} \times \vec{B} \qquad (۲)$$

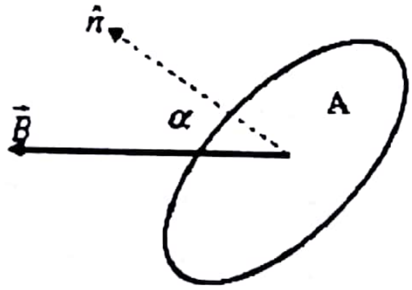
یکی دیگر از پدیده های جالب مغناطیسی ***جریان فوکو*** است. اگر یک قطعه فلزی در میدان مغناطیسی متغیر با زمان قرار گیرد، به علت تغییر شار مغناطیسی در تمام اجزای آن نیروی محرکه القائی ایجاد می گردد. چون این قطعه هادی جریان است،

نیروی محرکه القائی باعث ایجاد جریانی در تمام قطعه فلز می شود. این جریان را **جریان فوکو** می نامند. اگر تغییر شار خیلی زیاد باشد، آنگاه شدت جریان نیز زیاد خواهد بود. جریان القائی باعث اتلاف توان به صورت گرما در فلز می گردد و در نتیجه فلز داغ می شود. این پدیده اساس کوره‌های القائی می باشد.

برای بررسی و مطالعه پدیده‌های فوق باید به نکات زیر توجه کرد.

۱- جهت قراردادی جریان الکتریکی بین دو نقطه یک مدار از پتانسیل زیادتر (مثبت) به پتانسیل کمتر (منفی) است.

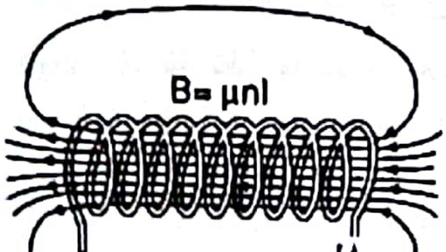
۲- شار مغناطیسی که از قابی به سطح A واقع در میدان B می‌گذرد از رابطه $\Phi = NAB\cos\alpha$ که درآن A سطح قاب، N تعداد دورهای قاب، B شدت میدان مغناطیسی و α زاویه بین بردار B و بردار یکه عمود بر سطح قاب است.(شکل۳).



شکل(۳)

۳- قانون القاء فاراده و قانون لنز برای یک سیم پیچی که N دور پیچیده شده به کمک رابطه زیر بیان می گردد:

$$\varepsilon = -N\frac{d\Phi}{dt} \qquad (۳)$$



شکل(۴)

۴- میدان مغناطیسی داخل سیم پیچ طویلی به طول l که جریان I از آن عبور می‌کند از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$B = \mu_\circ \frac{N}{l} I = \mu_\circ nI \qquad (۴)$$

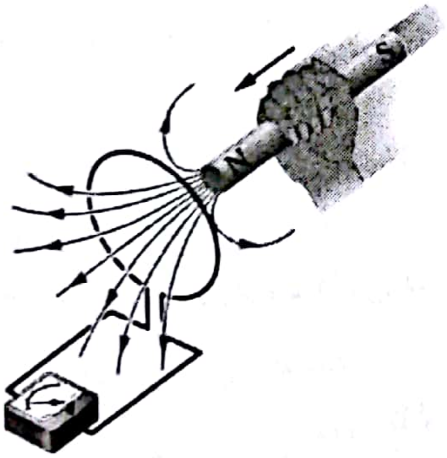
که در آن N تعداد دور سیم‌پیچ، n تعداد دورها در واحد طول و B میدان در امتداد محور سیم پیچ است.

۵- ترانسفورماتور، از دو سیم پیچ که روی یک هسته آهنی پیچیده شده اند، تشکیل می گردد.(شکل۵) به یکی از سیم پیچها (اولیه) ولتاژی را اعمال می کنند. عبور جریان متناوب از سیم‌پیچ اولیه، میدان مغناطیسی متغیری در هسته آهنی (و در نتیجه در سیم پیچ ثانویه) ایجاد می‌کند. میدان مغناطیسی متغیر، شار متغیری ایجاد می‌کند که این خود موجب تولید جریان متناوب در سیم پیچ ثانویه می‌شود. فرض کنید اولیه n_p دور و ثانویه n_s دور سیم پیچی شده باشند. چون شار مغناطیسی‌ای که از هر حلقه مدار اولیه و ثانویه عبور می‌کند با هم مساوی هستند، شدت جریان و ولتاژ دو مدار با رابطه زیر به هم مربوط می‌شوند.

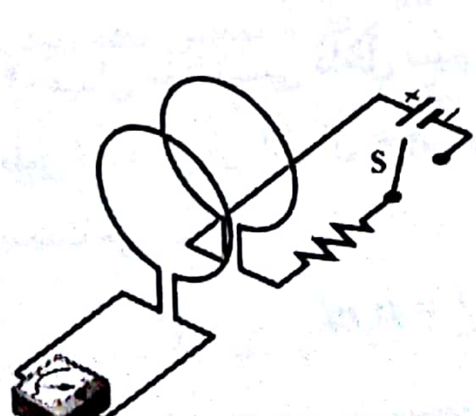
$$\frac{V_p}{V_s}=\frac{I_s}{I_p}=\frac{N_p}{N_s} \qquad (۵)$$

روش انجام آزمایش

۱- دو سر یک خودالقا را به یک گالوانومتر وصل کنید و با حرکت دادن آهنربای تیغه‌ای در داخل آن، جریان القایی ایجاد شده و جهت آن را ملاحظه نمائید. با توجه به شکل(۲) جهت و اندازه جریان القائی را توضیح دهید.

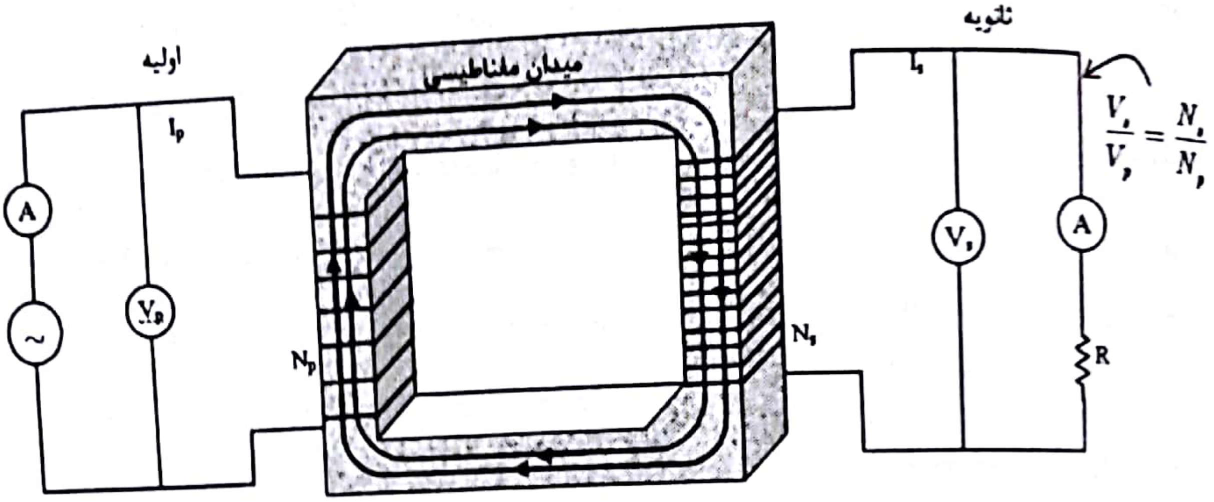


۲- دو سیم پیچ با دورهای مختلف را در دو شاخه یک هسته آهنی نعلی شکل مقابل یکدیگر قرار دهید. یکی از آنها را به جریان متناوب ۶ ولت و دومی را به یک ولت‌متر وصل نمایید. در این حالت مشاهده خواهید کرد که عقربه ولت‌متر منحرف می‌شود. علت را توضیح دهید و شرایط برقراری رابطه(۴) را تحقیق کنید.



۳- مداری مطابق شکل(۵) تشکیل دهید و دو سر سیم‌پیچ اولیه را به جریان متناوب و دو سر سیم‌پیچ ثانویه را به مقاومت وصل کنید و توسط

ولت‌متر و آمپرمتر، اختلاف پتانسیل و شدت جریان اولیه و ثانویه را اندازه‌گیری کنید و جدول(۱) را کامل کنید و رابطه بین اختلاف پتانسیل‌ها و شدت جریان‌ها را به دست آورید.



شکل(۵)

نسبت دور سیم‌پیچ‌ها	V_s	V_p	I_s	I_p
$N_p > N_s$				
$N_p < N_s$				
$N_p = N_s$				

جدول(۱)

۴- دستگاه الکترومگنت را بطور قائم روی میز قرار دهید. شکل(۶) نمونه ای از الکترومگنت را نشان می‌دهد. دو سر آن را توسط ترانس کاهنده مخصوص، به ولتاژ ۱۱۰ ولت وصل کنید. چون ولتاژ اعمال شده به سیم پیچ متغیر با زمان است، میدان مغناطیسی ایجاد شده نیز متغیر خواهد بود. حال آزمایش‌های زیر را به دقت انجام دهید:

الف) سیم‌پیچی را که لامپی به آن متصل است روی هسته الکترومگنت قرار دهید. ملاحظه خواهید کرد که لامپ روشن می‌شود علت را بیان کنید.

ب) اگر سطح سیم‌پیچ مذکور را به موازات سطح قاعده الکترومگنت قرار دهید، لامپ کاملاً پر نور خواهد شد، ولی اگر سطح آن عمود بر سطح قاعده هسته الکترومگنت قرار گیرد، لامپ خاموش خواهد شد. علت را توضیح دهید. با توجه به نتیجه این آزمایش چگونگی توزیع تقریبی خطوط میدان را در انتهای هسته الکترومگنت رسم کنید.

ج) دو حلقه فلزی با ضخامت و وزنهای مختلف را به ترتیب بالای هسته الکترومگنت قرار دهید. مشاهدات خود را با ذکر دلیل و فرمول ریاضی بنویسید. مخصوصاً توضیح دهید چرا با آنکه یکی از حلقه‌ها سنگین‌تر است بالاتر از دیگری که سبک‌تر است قرار می‌گیرد.

د) هر گاه دو حلقه فوق را با هم بالای الکترومگنت قرار دهیم همدیگر را جذب می‌کنند. علت این امر را توضیح دهید. توضیح دهید چرا حلقه سبک‌تر به طرف حلقه سنگین‌تر می‌رود.

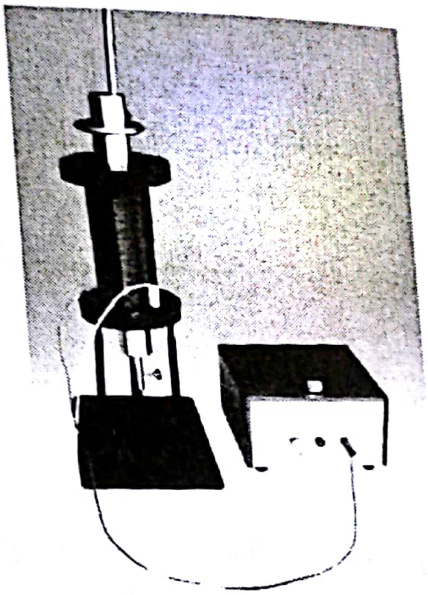
ه) به ترتیب سه صفحه آهنی، مسی و آلومینیومی را روی هسته الکترومگنت قرار دهید. ملاحظه خواهید کرد که هر سه گرم می‌شوند. علت را توضیح دهید. بر مبنای این پدیده می‌توانید اساس کار کوره‌های القایی را بیان کنید.

و) دو حلقه فلزی آزمایش (ج) وقتی بالای هسته الکترومگنت قرار می‌گیرند گرم می‌شوند، علت را بنویسید.

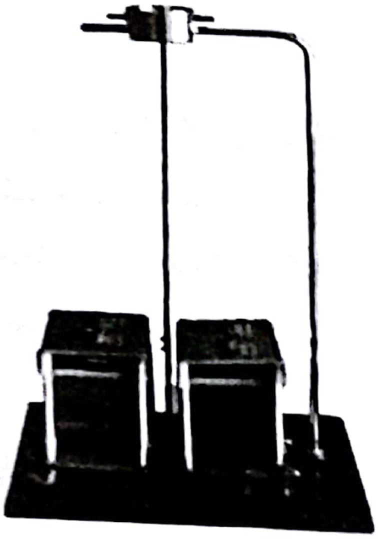
ز) با توجه به مواردآزمایش‌ها توضیح دهید که چرا هسته ترانس‌ها را مورق می‌سازند.

۵- دستگاه آونگ جریان فوکو را با قرار دادن دو بوبین در مکان‌های خود مطابق شکل(۷) و تنظیم آونگ با صفحات آلومینیومی در بین آنها آماده کنید. سپس بوبین‌ها را به منبع تغذیه وصل کرده و هسته‌های آنها را داخل بوبین‌ها قرار دهید، حال آونگ با صفحات آلومینیومی شیاردار و بدون شیار را بین بوبین‌ها به نوسان درآورید و زمان

تناوب آنها را به دست آورید. زمان تناوب این آونگ‌ها را موقعی که بوبین‌ها از منبع تغذیه قطع می باشند نیز به دست آورید و با هم مقایسه کنید و علت تفاوت را بنویسید.



شکل(۶): الکترومگنت



شکل(۷) آونگ جریان فوکو

آزمایش شماره ۱۱

بررسی مؤلفه افقی میدان مغناطیسی زمین

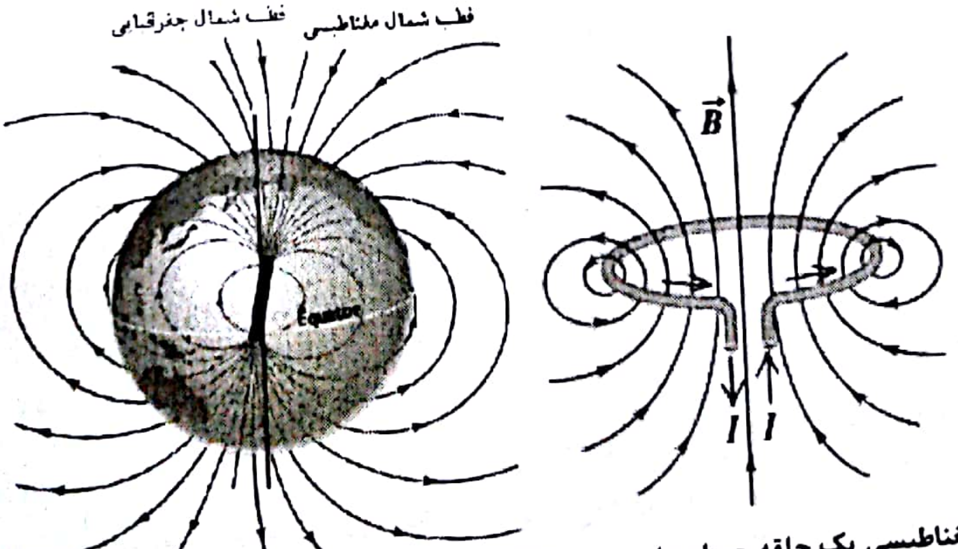
هدف:

- تعیین و اندازه‌گیری مؤلفه افقی میدان مغناطیسی زمین با استفاده از میدان یک حلقه جریان.

وسایل آزمایش: گالوانومتر تانژانت، آمپرمتر، رئوستا، منبع تغذیه. سیم پیچ(سلف)، قطب نما، سیم رابط، خط کش

مبانی نظری

کره زمین دارای میدان مغناطیسی در اطراف خود می باشد (شکل ۱-ب). برای اندازه گیری این میدان می‌توان آن را با یک میدان مغناطیسی با شدت معلوم، مثلا میدان مغناطیسی یک حلقه جریان مقایسه نمود. هر گاه از یک حلقه رسانا جریانی عبورنماید، میدان مغناطیسی درفضای اطراف آن القا می گردد. شکل(۱-الف) میدان مغناطیسی را در اطراف یک حلقه نشان می‌دهد.



الف- میدان مغناطیسی یک حلقه جریان دار

شکل(۱)

ب- میدان مغناطیسی اطراف زمین

اگر از حلقه دایره‌ای شکلی شامل n دور سیم، جریان I عبور کند میدان مغناطیسی در فاصله y از مرکز حلقه برابر است با:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2} \frac{R^2}{(R^2 + y^2)^{\frac{3}{2}}} \qquad (1)$$

که در آن R شعاع حلقه برحسب متر و $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ گذردهی مغناطیسی خلأ و B میدان مغناطیسی، برحسب وبر بر متر مربع Wb/m^2 می باشد. - در صورتی که شعاع حلقه به اندازه کافی بزرگ باشد- میدان مغناطیسی در مرکز حلقه با تقریب خوبی عبارت است از:

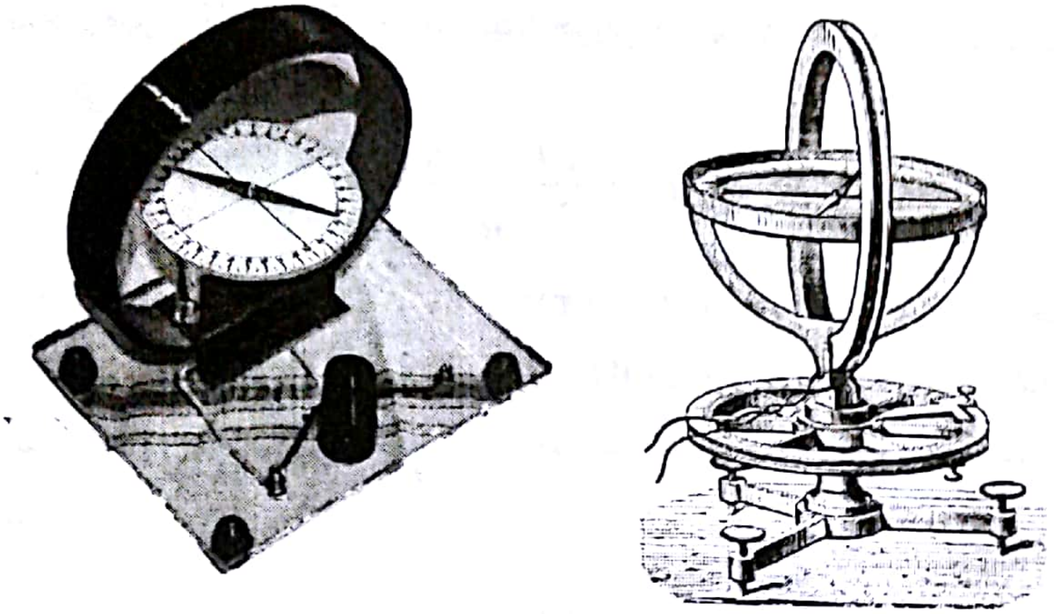
$$B = \frac{\mu_0 I}{2R} \qquad (1')$$

شدت میدان مغناطیسی در سیستم CGS به صورت زیر در می‌آید:

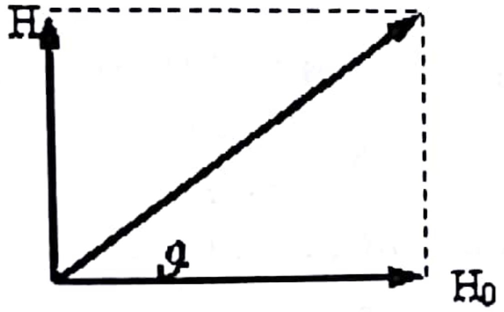
$$H = \frac{2\pi}{10} \frac{nI}{R} \qquad (2)$$

در این سیستم R برحسب سانتی‌متر و H برحسب گوس است. جهت H هم با توجه به شکل(۱)، طبق قانون دست راست (قانون پیچ راستگرد) بدست می‌آید. یعنی اگر جریان در جهت چهار انگشت خم شده دست راست باشد، جهت میدان در امتداد انگشت باز شست خواهد بود (شکل ۱-ب در آزمایش ۱۰ را ببینید).

چون می توان شدت میدان مغناطیسی حلقه را محاسبه نمود، می‌توان از میدان مغناطیسی بوجود آمده برای اندازه گیری مولفه افقی میدان مغناطیسی زمین استفاده کرد. برای این منظور وسیله ای به نام گالوانومتر تانژانت طراحی شده است. این وسیله شامل یک صفحه چوبی دایره‌ای شکل می باشد، که تعدادی سیم‌پیچ با شعاع‌ها و دورهای مختلف روی آن پیچیده شده است. در مرکز این حلقه‌ها، که سطح آنها هنگام آزمایش کاملاً قائم قرار می‌گیرد، یک صفحه دایره‌ای مدرج همراه با یک عقربه مغناطیسی بطور افقی مطابق شکل(۲) تعبیه شده است.



الف: نمونه هائی از گالوانومتر تانژانت



ب: برآیند میدان مغناطیسی زمین و حلقه

شکل(۲)

میدان مغناطیسی زمین در هر نقطه را می توان به دو مؤلفه افقی و قائم تجزیه کرد. عقربه قطب نمای مغناطیسی تحت تأثیر مؤلفه افقی منحرف می‌گردد. حال اگر از یکی ازقاب‌های گالوانومتر تانژانت جریانی عبور کند، عقربه مغناطیسی تحت تأثیر دو میدان که هر دو افقی هستند قرار می‌گیرد. در نتیجه موقعیت عقربه قطب نما در امتداد برآیند این دو میدان خواهد بود. اگر گالوانومتر را طوری قرار دهیم که جهت میدان مغناطیسی زمین عمود بر میدان حاصل از سیم‌پیچ باشد، آنگاه با توجه به شکل (۲-ب)، می‌توان نوشت:

$$\tan\theta = \frac{H}{H_\circ} \qquad (۳)$$

که در آن H میدان مغناطیسی حلقه جریان دار، $H_\circ$ میدان مغناطیسی زمین و θ زاویه میدان برآیند با میدان مغناطیسی زمین است. با اندازه‌گیری θ و معلوم بودن

مقدار H می‌توان مقدار $H_{\circ}$ را از رابطه (۳) بدست آورد. چون میدان H را با عبور جریان I از سیم‌پیچ دایره‌ای شکل، (گالوانومتر تانژانت) ایجاد می‌کنیم، پس مقدار آن در مرکز حلقه از رابطه (۲) بدست می‌آید. ترکیب (۲) با(۳) نتیجه می‌دهد که:

$$H_{\circ} = \frac{2\pi}{10}\frac{nI}{R}\frac{1}{\tan\theta} \qquad (4)$$

با دانستن مقدارهای R، n و اندازه‌گیری I و θ به سادگی می توان $H_{\circ}$ را بصورت زیر تعیین می‌کنیم:

$$H = H_{\circ}\tan\theta = \frac{2\pi}{10}\frac{nI}{R} \qquad (5)$$

بنابراین داریم:

$$nI = \frac{10RH_{\circ}}{2\pi}\tan\theta \qquad (6)$$

مقدار $\frac{10RH_{\circ}}{2\pi}$ را ضریب کاهش گالوانومتر می‌نامند و ما آن را با k نمایش می‌دهیم. با این جایگزینی داریم:

$$nI = k\tan\theta \qquad (7)$$

پس با رسم نمودار nI برحسب $\tan\theta$ می‌توان ضریب زاویه خط حاصل، یعنی k را اندازه گرفت. با داشتن این مقدار، می‌توان $H_{\circ}$ را از رابطه زیر محاسبه کرد.

$$H_{\circ} = \frac{2\pi}{10R}k \qquad (8)$$

روش انجام آزمایش

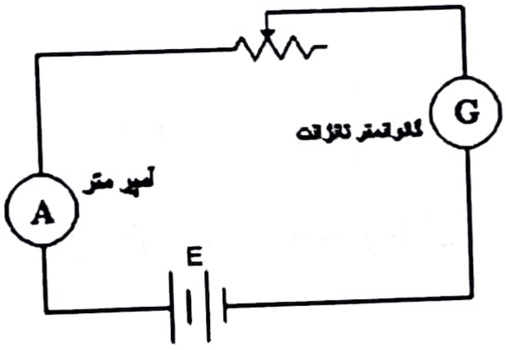
۱- ابتدا گالوانومتر را طوری روی میز قرار دهید که صفحه عقربه مغناطیسی آن افقی قرار گیرد، در این صورت عقربه آن باید قادر باشد با کمترین اصطکاک به راحتی در راستای افقی حرکت کند.

۲- اکنون در حالیکه بطور قائم به صفحه مدرج عقربه نگاه می‌کنید، پایه دستگاه را آنقدر بچرخانید تا عقربه روی اعداد صفر و ۱۸۰ درجه بایستد. بدین ترتیب گالوانومتر طوری قرار گرفته است که سطح سیم‌پیچ و عقربه مغناطیسی در راستای

شمال و جنوب مغناطیسی زمین می‌باشند. اگر به سیم پیچ گالوانومتر تانژانت جریانی اعمال گردد، میدان حاصل از سیم‌پیچ عمود بر این راستا خواهد بود.

۳- مدار دستگاه را مطابق شکل(۳) ببندید و سعی کنید تمام اشیاء فلزی بخصوص آمپرمتر را حتی‌المقدور از دستگاه دور نمایید. در ابتدا مدار باید قطع باشد.

۴- پس از حصول اطمینان از درست بودن مدار، آن را وصل کنید و به ازاء جریانهای مختلف برای حلقه‌های مختلف گالوانومتر تانژانت، زاویه θ را از دو طرف (دو انتهای عقربه مغناطیسی) خوانده و در جدول(۱) یادداشت کنید. برای هر حلقه و برای هر تعداد دور، اندازه‌گیری را در دو جریان انجام دهید.



شکل(۳)

محاسبه خطا:

با توجه به (۶) می توان نوشت:

$$\ln(H_0) = \ln\left(\frac{2\pi nI}{R\tan\theta}\right) \qquad (9)$$

آنچه اندازه گیری می شود، جریان، شعاع حلقه و زاویه است. درنتیجه:

$$\frac{dH_0}{H_0} = \frac{dI}{I} - \frac{dR}{R} + \frac{\sec^2\theta d\theta}{\tan\theta} \qquad (10)$$

توجه کنید که اندازه گیری جمله $2\pi n$ دارای خطا نیست، لذا مشتق آن را صفر گرفته ایم. حداکثر خطا عبارت است از:

$$\left.\frac{\Delta H_0}{H_0}\right|_{max} = \frac{\Delta I}{I} + \frac{\Delta R}{R} + \frac{2\Delta\theta}{\sin 2\theta} \qquad (11)$$

چون در گالوانومتر تانژانتی که در اختیار دارید، شعاع حلقه را اندازه نمی گیرید جمله خطای اندازه گیری شعاع حلقه را حذف کنید.

۱- جدول(۱) را کامل کنید.

۲- با استفاده از داده‌های جدول(۱) منحنی تغییرات $\tan\theta$ را برحسب حاصل‌ضرب nI روی کاغذ میلی‌متری رسم کنید و از روی آن H_0 را محاسبه کنید.

۴- مقدار محاسبه شده را با مقدار واقعی H_0 مقایسه و منابع خطا را نام ببرید. همچنین توضیح دهید که برای کم کردن این خطا چه باید کرد. آیا زاویه ای وجود دارد که میزان خطا در آن حداقل باشد؟

جدول آزمایش شماره۱۱

بررسی مؤلفه افقی میدان مغناطیسی زمین

N=3

N								
R								
I								
$\theta_۱$								
$\theta_۲$								
$\theta = \frac{\theta_۱ + \theta_۲}{۲}$								
nI								
$\tan\theta$								
$\frac{\Delta I}{I}$								
$\frac{\Delta\theta}{\sin ۲\theta}$								
$\frac{\Delta H_۰}{H_۰}$								

جدول(۱)

آزمایش شماره ۱۲

آشنایی با دیود

هدف:

- آشنایی با دیود های نیمه هادی و رسم منحنی مشخصه آنها

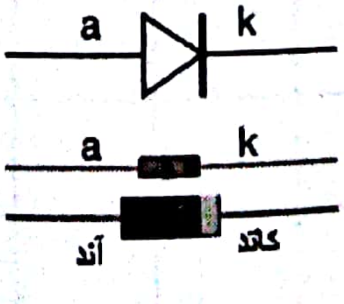
وسایل آزمایش: اهم متر، انواع دیود، مقاومت، منبع تغذیه

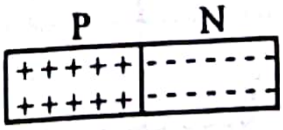
مبانی نظری

از پیوند دو نوع نیم رسانای n و p یک قطعه الکترونیکی به نام دیود بوجود می‌آید که در انواع مختلفی در سیستمهای مخابرات نوری ، نمایشگرهای دیجیتالی ، باتری‌های خورشیدی و ... مورد استفاده قرار می‌گیرد.

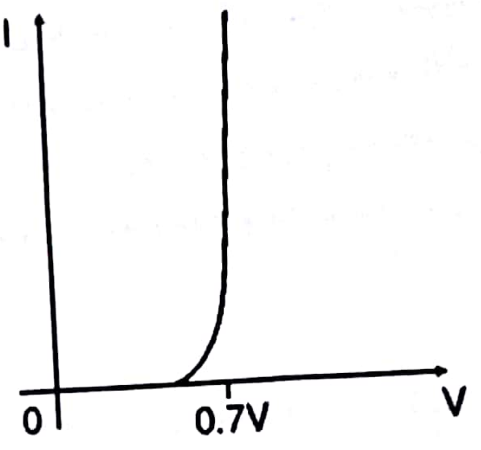
دیودها جریان الکتریکی را در یک جهت از خود عبور می‌دهند و در جهت دیگر در مقابل عبور جریان از خود مقاومت بالایی نشان می‌دهند. این خاصیت آنها باعث شده بود تا در سالهای اولیه ساخت این وسیله الکترونیکی، به آن دریچه[1] هم اطلاق شود. از لحاظ الکتریکی یک دیود هنگامی عبور جریان را از خود ممکن می‌سازد که شما با برقرار کردن ولتاژ در جهت درست (+ به آند و - به کاتد) آنرا آماده کار کنید.

مقدار ولتاژی که باعث می‌شود تا دیود شروع به هدایت جریان الکتریکی نماید ولتاژ آستانه[2] نامیده می‌شود که چیزی حدود ۰/۶تا ۰/۷ ولت می‌باشد. در شکل(۱) علامت قراردادی و دو نمونه از انواع دیود را ملاحظه می کنید. در این آزمایش دیود از نظر کاربرد عملی مورد بررسی قرار می گیرد.





شکل(۱) نماد فنی و دو نمونه از انواع دیود



شکل(۱) منحنی مشخصه دیود در هنگام اعمال ولتاژ مثبت

به شکل(۱) توجه کنید که چگونه برای ولتاژهای مثبت (منظور جهت درست می باشد) تا قبل از ۰/۷ ولت دیود از خود مقاومت نشان می دهد و سپس به یکباره مقاومت خود را از دست می دهد و جریان را از خود عبور می دهد.

اما هنگامی که شما ولتاژ معکوس به دیود متصل می کنید (+ به کاتد و - به آند) جریانی از دیود عبور نمی‌کند، مگر جریان بسیار کمی که به جریان نشتی[1] معروف است که در حدود چند μA یا حتی کمتر می‌باشد(I_s). این مقدار جریان معمولاً در اغلب مدار های الکترونیکی قابل صرفنظر کردن بوده و تاثیری در رفتار سایر المانهای مدار نمی گذارد. اما نکته مهم آنکه تمام دیودها یک آستانه برای حداکثر ولتاژ معکوس دارند که اگر ولتاژمعکوس بیش از آن شود دیود می سوزد و جریان را در جهت معکوس هم عبور می دهد. به این ولتاژ آستانه شکست[2] گفته می شود(V_B).

دسته بندی دیودها

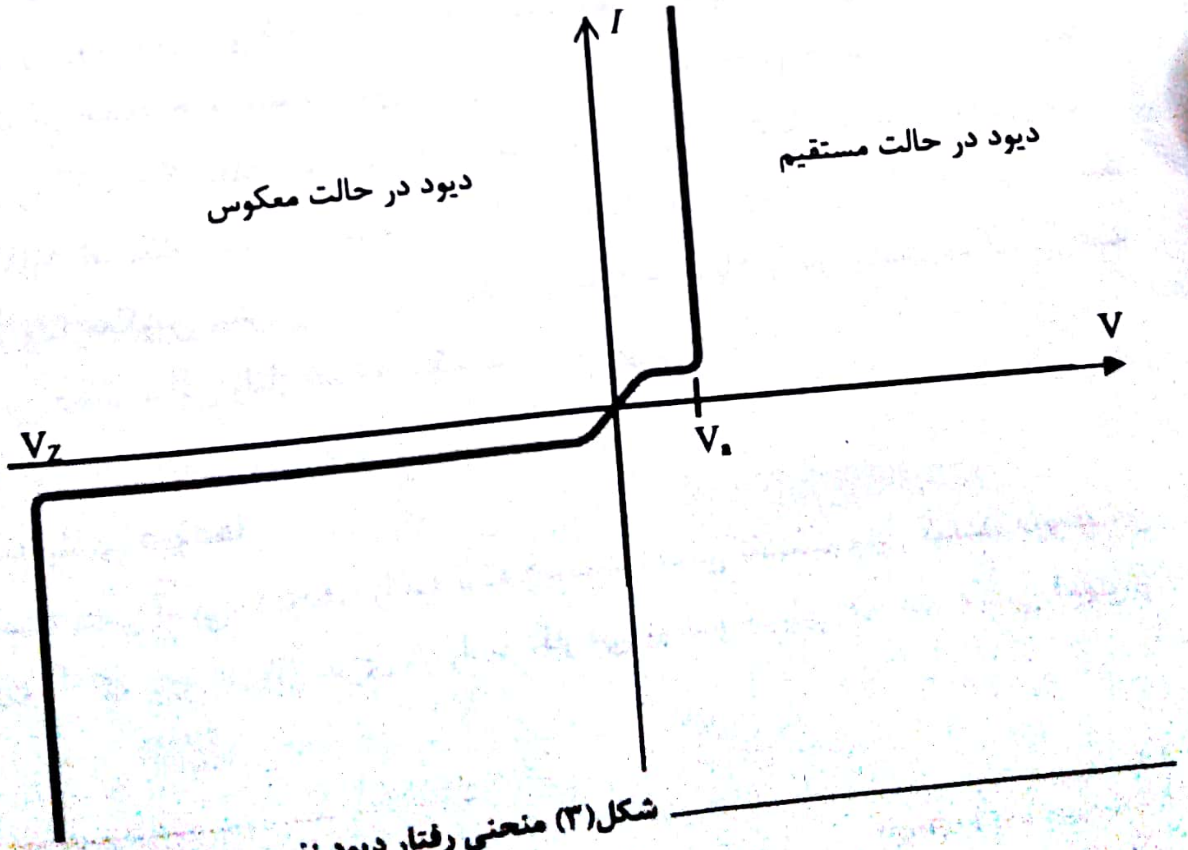
در دسته بندی اصلی، دیودها را به سه قسمت اصلی تقسیم می کنند، *دیودهای سیگنال*[3] که برای آشکار سازی در رادیو بکار می روند و جریانی در حد میلی آمپر از

[1] *Leakage*
[2] *Breakdown Voltage*
[3] *Signal*

خود عبور می دهند، *دیودهای یکسوکننده*[1] که برای یکسوسازی جریانهای متناوب بکاربرده می شوند و توانایی عبور جریانهای زیاد را دارند و بالآخره دیود های زنر[2] که برای تثبیت ولتاژ از آنها استفاده می شود. انواع دیگر دیودها می توان به دیود پیوندی، دیود تونلی، دیود نوری، یکسو ساز تمام موج و یکسو ساز نیم موج اشاره نمود.

دیود زنر

دیود زنر، نوع دیگری از دیود است که در جهت مستقیم شبیه دیود معمولی عمل می-کند ولی هنگامیکه پتانسیل الکتریکی دو سر دیود را در جهت معکوس افزایش دهیم در ولتاژ خاصی پدیده شکست اتفاق می افتد، بدین معنی که با افزایش بیشتر ولتاژ، جریان بطور سریع و ناگهانی افزایش خواهد داشت. دیود های زنر یا شکست دیودهایی هستند که در این ناحیه یعنی ناحیه شکست کار می کنند ولتاژ خروجی تقریباً مستقل از جریان شده و ثابت می ماند(شکل۳) در این نوع دیود ظرفیت حرارتی آنها طوری است که قادر به تحمل محدود جریان معینی در حالت شکست می باشند.

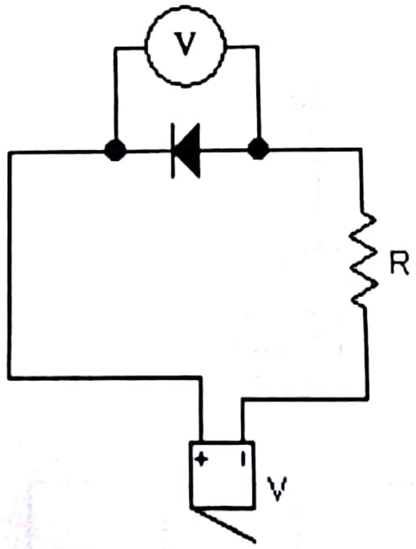


شکل(۳) منحنی رفتار دیود زنر

علامت اختصاری دیود زنر به صورت شکل ⯈ می باشد به ولتاژ شکست در دیودهای زنر ولتاژ زنر(V_Z) گفته می‌شود. قرار گرفتن دو سر دیود زنر در ولتاژ زنر باعث سوختن آن نمی شود و این دیودها طوری طراحی شده اند که ولتاژ زنر برایشان یک ولتاژ کار محسوب می شود.

روش انجام آزمایش

قبل از شروع آزمایش لازم است نوع و قطبهای دیود را مشخص کنید. اگر یک اهم متر را به دو سر یک دیود وصل کنید چنانچه مقاومت کوچکی را نشان دهد، دیود در حالت مستقیم قرار گرفته و قطبی که به ورودی منفی اهم متر وصل شده است قطب P و قطبی که به ورودی مثبت وصل شده قطب N است. همچنین اگر اهم‌متر مقاومت بزرگی را نشان دهد قطبی که به ورودی منفی وصل شده است N و قطب دیگر P است. معمولاً کارخانه سازنده دیود توسط یک نوار مشکی قطب N را علامت گذاری می کند.



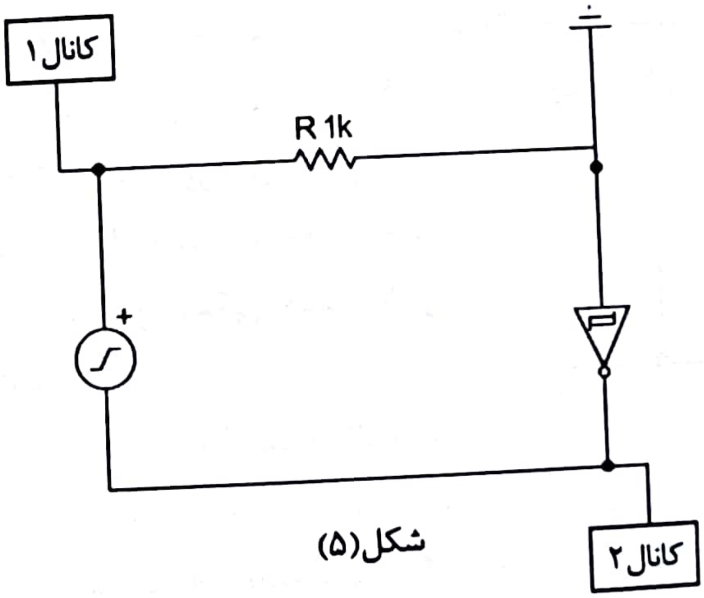
شکل(۴)

برای تشخیص دیود زنر با استفاده از منبع تغذیه و آوومتر مدار شکل(۴) را ببندید. مقاومت مدار را حدود 100Ω انتخاب کنید. توجه داشته باشید که دیود در حالت معکوس قرار دارد. ولتاژ منبع تغذیه را به تدریج از صفر زیاد کنید و در حین انجام این کار ولتاژ دو سر دیود را بخوانید و همچنین جریان عبوری از مدار را با خواندن ولتاژ دو سر مقاومت به دست آورید و در جدول (۱) یادداشت نمایید. در صورتی که دیود مورد آزمایش، زنر باشد ولتاژ از صفر زیاد می شود و در یک مقدار معینی ثابت می ماند که این همان ولتاژ زنر است در غیر اینصورت ولتاژ دو سر دیود با افزایش ولتاژ منبع زیاد شده و تقریباً برابر با آن است.

با استفاده از نتایج جدول(۱) منحنی مشخصه دیود را به وسیله نقطه‌یابی بدست می-آورید.

رسم منحنی مشخصه جریان -ولتاژ (I-V) دیود بر روی اسیلوسکوپ

مداری مطابق شکل(۵) ببندید و ولتاژ منبع تغذیه AC را روی ۳V قرار دهید دو سر مقاومت را به کانال۱ اسیلوسکوپ و دوسر دیود را به کانال۲ اسیلوسکوپ وصل نمایید و کلید Volt/Div را برای هر دوکانال روی یک مقدار مشخص قرار دهید، دقت کنید کلید X-Y را به پایین باشد. در این حالت ولتاژ شکست را برای این دیود از روی اسیلوسکوپ به دست آورید.



شکل(۵)

V دو سر دیود							
V_R دو سر مقاومت							
$I = \frac{V_R}{R}$							

جدول (۱)